



TUGAS AKHIR TF 141581

**ANALISIS PENGARUH KEKAKUAN DAN
KOEFSIEN REDAMAN PADA SUSPENSI
KERETA API UNTUK KENYAMANAN
DITINJAU PADA *CENTER OF GRAVITY***

SITI NURUL AFIZAH
NRP. 02311440000013

Dosen Pembimbing
Ir. Yerri Susatio, M.T.
NIPN. 19541017 198003 1 005
Ir. Yaumar, M.T
NIPN. 19540404 198103 1 003

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT TF 141581

***ANALYZATION THE EFFECT OF STIFFNESS
AND DAMPING COEFFICIENT ON CENTER
OF GRAVITY OF TRAIN SUSPENSION FOR
COMFORTABILITY***

SITI NURUL AFIZAH

NRP. 02311440000013

Supervisor

Ir. Yerri Susatio, M.T.

NIPN. 19541017 198003 1 005

Ir. Yaumar, M.T

NIPN. 19540404 198103 1 003

DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS

Faculty of Industrial Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2018

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

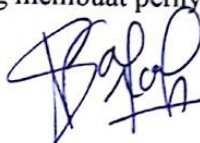
Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Siti Nurul Afizah
NRP : 02311440000013
Jurusan/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Analisis Pengaruh Kekakuan Dan Koefisien Redaman Pada Suspensi Kereta Api Untuk Kenyaman Penumpang Ditinjau Dari *Center of Gravity*" adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 23 Juli 2018
Yang membuat pernyataan,



Siti Nurul Afizah
NRP. 02311440000013

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**ANALISIS PENGARUH KEKAKUAN DAN KOEFISIEN
REDAMAN PADA SUSPENSI KERETA API UNTUK
KENYAMAN DITINJAU PADA *CENTER OF GRAVITY*
oleh:**

**SITI NURUL AFIZAH
NRP. 02311440000013**

Surabaya,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Ir. Yerri Susatio, M.T.
NIPN. 19541017 198003 1 005



Ir. Yaumar, M.T
NIPN. 19540404 198103 1 003



**ANALISIS PENGARUH KEKAKUAN DAN KOEFISIEN
REDAMAN PADA SUSPENSI KERETA API UNTUK
KENYAMAN DITINJAU PADA *CENTER OF GRAVITY***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Bidang Studi Rekayasa Akustik dan Fisika Bangunan
Program Studi S1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
oleh:

SITI NURUL AFIZAH
NRP. 02311440000013


Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :


1.Ir. Yerri Susatio, M.T.


2.Ir. Yaumar, M.T.


3.Dr. Dhany Arifianto, ST.,M.Eng

4.Ir. Wiratno Argo Asmoro, M.Sc

 (Pembimbing I)

 (Pembimbing II)

 (Ketua Penguji)

 (Penguji)

Surabaya, Juli 2018

ANALISIS PENGARUH KEKAKUAN DAN KOEFISIEN REDAMAN PADA SUSPENSI KERETA API UNTUK KENYAMAN DITINJAU PADA *CENTER OF GRAVITY*

Nama Mahasiswa : Siti Nurul Afizah
NRP : 02311440000013
Jurusan : Teknik Fisika FTI ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Yerri Susatio, M.T.
Ir. Yaumar, M.T.

ABSTRAK

Kereta api merupakan salah satu jenis transportasi yang mempunyai daya angkut penumpang dalam jumlah banyak. Parameter nilai kekakuan pegas dan koefisien redaman pada suspensi merupakan salah satu faktor penting untuk kenyamanan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui parameter kekakuan pegas dan koefisien redaman yang sesuai pada kereta api ekonomi K3 dan eksekutif K1 Argo dengan memvariasikan nilai parameter tersebut agar sesuai dengan standart kenyamanan berdasarkan ISO 2631. Pada gangguan yang diberikan sebesar 51 mm menghasilkan nilai arms yang sesuai dengan standart. Sedangkan pada gangguan sebesar 220 mm pada gangguan *step* didapatkan a_{rms} sebesar 0.57 m/s^2 , sedangkan pada gangguan *impuls* menghasilkan a_{rms} sebesar 0.67 m/s^2 , dimana nilai tersebut tidak sesuai dengan standart ISO 2631. Dilakukan 3 variasi untuk masing-masing gangguan sinyal dan didapatkan nilai parameter yang menghasilkan nilai Arms sesuai standar ISO 2631 adalah dengan pengurangi nilai koefisien redaman sebesar 50% dan menambah nilai kekakuan pegas sebesar 20%. Pada kereta ekonomi (K-3) didapatkan nilai arms pada input *step* sebesar $0,308 \text{ m/s}^2$ dan sinyal *impuls* sebesar $0,283 \text{ m/s}^2$, kemudian pada kereta eksekutif (K-1 Argo) dengan massa kosong didapatkan nilai arms pada input *step* sebesar $0,288 \text{ m/s}^2$ dan sinyal *impuls* sebesar $0,253 \text{ m/s}^2$. sedangkan pada massa penuh didapatkan nilai arms pada input *step* sebesar $0,282 \text{ m/s}^2$ dan sinyal *impuls* sebesar $0,284 \text{ m/s}^2$.

Kata Kunci: *Suspensi, ISO 2631, kekakuan pegas, koefisien redaman*

Halaman ini memang dikosongkan

ANALYZATION THE EFFECT OF STIFFNESS AND DAMPING
COEFFICIENT ON CENTER OF GRAVITY OF TRAIN
SUSPENSION FOR COMFORTABILITY

Name : Siti Nurul Afizah
NRP : 02311440000013
Departement : Engineering Physics
Supervisor : Ir. Yerri Susatio, M.T.
Ir. Yaumar, M.T

ABSTRACT

Trains is one type of transportation that has a large passenger carrying capacity. The main factor of safety and comfort of the railway is the suspension system. The value of spring stiffness and damping coefficient parameters is one of the important factors for comfort. This study was conducted to determine the parameters of rigidity and the corresponding damping coefficient on the K3 economics of railway and K1 Argo executives by varying the parameter values to conform to the convenience standards based on ISO 2631. At a given disturbance of 51 mm produces an arms value corresponding to the standard. While at the disturbance of 220 mm at the step disorder obtained in the step impairment obtained a_{rms} of 0.57 m/s^2 , while on disturbance yields a_{rms} of 0.67 m/s^2 , which is not compliant with ISO 2631 standards. There are 3 values for each parameter and the parameter values resulting in a_{rms} value according to ISO 2631 standard are reducing to the 50% damping coefficient and value of spring stiffness increasing of 40%. For the economic train (K-3) we get the a_{rms} value with the input step equal to 0.308 m/s^2 and produce an impulse equal to 0.283 m/s^2 , then on the executive train (K-1 Argo) with zero mass, the value of a_{rms} with input step is 0.288 m/s^2 and the impulse is 0.253 m/s^2 . While with full mass, the a_{rms} value with the input step is 0.282 m/s^2 and an impulse signal of 0.284 m/s^2 .

Keywords: *Suspension, ISO 2631, spring stiffness, damping coefficient*

Halaman ini memang dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirrat Allah SWT atas rahmat-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul **“Analisis Pengaruh Kekakuan Dan Koefisien Redaman Pada Suspensi Kereta Api Untuk Kenyaman Ditinjau Pada Center Of Gravity ”** dapat terselesaikan.

Halaman kata pengantar ini saya dedikasikan untuk berterimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu terselesaikannya tugas akhir ini. Ucapan terimakasih secara khusus saya berikan kepada orang-orang berikut ini.

1. Bapak Agus Muhammad Hatta, S.T,M.Sc,Ph.D. selaku ketua Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS
2. Bapak Ir. Yerri Susatio, M.T selaku dosen pembimbing yang selalu dengan sabar memberikan ilmu, membantu memecahkan masalah, memberikan kuliah kilat, dan sabar dalam membimbing.
3. Bapak Ir. Yaumar, M.T, selaku dosen pembimbing dua yang banyak memberikan ilmu mengenai implementasi sistem pada dunia industri.
4. Bapak Ir. Wirato Argo Asmoro M.Sc selaku kepala laboratorum vibrasi dan akustik yang selalu dengan sabar memberikan wejangan selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Dhany Arifianto, ST.,M.Eng selaku bapak lab,yang selalu dengan sabar memberikan wejangan saran,dan masukan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Ibu saya Nur Afifah, terima kasih atas segala doa, motivasi dan dukungannya selama pengerjaan Tugas Akhir.
7. Kakak laki-laki saya, Muhammad Sazali Nurrokhman, terima kasih sudah memberikan dukungan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini, sudah mau bertukar laptop demi kelancaraan pengerjaan Tugas Akhir.

8. Teman teman anggota Vibrastic lab yang menjadi penghibur dalam keadaan jenuh.
9. Teman hura-hura saya, Ilvy, Mbak ayu, Juniar, Mbak Okta, Mbak Fidia, Gama, Anis Wenda, Sresta yang telah membantu dalam pelaksanaan tugas akhir saya, menjadi teman bermain di saat senang dan susah. Yang mau menghibur dikala sedih.
10. Teman-teman seperjuangan Tugas Akhir saya, Mbak Nadia, Deni, Pieter, Malvika yang menjadi teman diskusi.
11. Dan pihak lain yang tidak bisa saya sebut satu-satu.
Terima kasih banyak.

Demikian laporan ini penulis buat, semoga dapat memberikan manfaat selain bagi penulis sendiri dan bagi pembaca sekalian.

Surabaya, 31 Mei 2018
Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR ISTILAH	xxv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II DASAR TEORI.....	5
2.1 Getaran.....	5
2.2 Redaman	5
2.3 Jenis – Jenis Getaran Teredam	6
2.3.1 Getaran Kurang Teredam (<i>under-damped</i>)	7
2.3.2 Getaran Teredam Kritis (<i>Critically-damped</i>).....	8

2.3.2	Getaran Teredam Lebih (<i>Over-damped</i>).....	9
2.4	Karakteristik Respon Transient	9
2.5	Sistem Pemodelan Suspensi Setengah Bagian Kendaraan Kereta Api.....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		15
3.1	Standar Kenyamanan Berkendara	16
3.2	Parameter Sistem Suspensi Pada Kereta Api.....	16
3.3	Redesain Sistem Suspensi	18
3.4	Profil Lintasan Jalan.....	19
3.4.1.	Fungsi <i>Step</i>	19
3.4.2.	Fungsi <i>Impuls</i>	20
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		21
4.1	Hasil Simulasi Sistem Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3)	21
4.1.1.	Hasil Simulasi Sistem Suspensi Dengan Input <i>Step</i>	21
4.1.2.	Hasil Simulasi Sistem Suspensi Dengan Input <i>Impuls</i>	24
4.2	Hasil Simulasi Sistem Suspensi Dengan Input <i>Step</i>	27
4.3	Hasil Simulasi Sistem Suspensi Dengan Input <i>Impuls</i>	28
4.4	Hasil Simulasi Sistem Suspensi Kereta Api Ekonomi.....	30

4.4.1. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input <i>Step</i> Dengan Penambahan Nilai K.....	31
4.4.2. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input <i>Step</i> dengan Pengurangan K	32
4.4.3. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input <i>Step</i> dengan Penambahan C.....	34
4.4.4. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input <i>Step</i> dengan Pengurangan C	36
4.4.5. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input <i>Step</i> dengan Penambahan K dan C	38
4.2.6. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input <i>Step</i> dengan Pengurangan K dan C	39
4.5 Hasil Simulasi Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) Input <i>Step</i> dengan Penambahan C 50% dan Pengurangan K 10%	41
4.6 Hasil Simulasi Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) Input <i>Step</i> dengan Pengurangan C 50% dan Penambahan K 20%	44
4.7 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) Input <i>Impuls</i> Dengan Variasi Parameter I.....	46
4.7.1 Hasil Simulasi Suspensi Input <i>Impuls</i> dengan Penambahan K.....	47
4.7.2 Hasil Simulasi Suspensi Pasif Input <i>Impuls</i> dengan Penambahan C.....	48
4.5.3 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input <i>Impuls</i> dengan Penambahan K dan C	50

4.8 Hasil Simulasi Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) <i>Impuls</i> dengan Penambahan C 50% dan Pengurangan K 10%	51
4.9 Hasil Simulasi Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) <i>Impuls</i> dengan Pengurangan C 50% dan Penambahan K 20%	54
4.10 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Kereta Api Eksekutif (K1-Argo)	56
4.10.1 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Massa Kosong Dengan Input <i>Step</i>	57
4.10.2. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Massa Kosong Dengan Input <i>Impuls</i>	59
4.10.3. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Massa Penuh Dengan Input <i>Step</i>	61
4.10.4. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Massa Penuh Dengan Input <i>Impuls</i>	63
4.11 Pembahasan	65
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN.....	73
BIODATA PENULIS	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem permodelan getaran sederhana.....	5
Gambar 2.2 Sistem permodelan getaran sederhana dengan redaman	6
Gambar 2.3 Peluruhan logaritmis amplitudo getaran.....	7
Gambar 2.4 Respon osilasi getaran kurang teredam (<i>under-damped</i>).....	8
Gambar 2.5 Respon osilasi getaran teredam kritis (<i>critically-damped</i>).....	8
Gambar 2.6 Respon osilasi getaran teredam lebih (<i>over-damped</i>).....	9
Gambar 2.7 Grafik respon transient (M.Ali, 2004).....	11
Gambar 2.8 Sistem permodelan suspensi setengah badan kereta api (Semiha Turkey, 2016).....	11
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	15
Gambar 3.2 Bogie TB 1014 (Sumber PT.INKA).....	17
Gambar 3.3 Sistem Bogie TB 1014 (Sumber PT. INKA)	17
Gambar 3.4 Profil lintasan <i>step</i>	20
Gambar 3.5 Profil sinyal <i>impuls</i>	20
Gambar 4.1 Ukuran penampang rel R60 ((PM), 2012)	22
Gambar 4.2 Respon simpangan bodi kereta api	23
Gambar 4.3 Respon percepatan bodi kereta api	23
Gambar 4.4 Respon simpangan bodi kereta api	25
Gambar 4.5 Respon percepatan bodi kereta api	26
Gambar 4.6 Respon simpangan bodi kereta api	27
Gambar 4.7 Respon Percepatan Bodi Kereta Api	28
Gambar 4.8 Respon simpangan bodi kereta api	29
Gambar 4.9 Respon Percepatan Bodi Kereta Api	30
Gambar 4.10 Grafik penambahan nilai parameter k	32

Gambar 4.11	Grafik pengurangan nilai parameter k	33
Gambar 4.12	Grafik penggabungan nilai parameter k	34
Gambar 4.13	Grafik penambahan nilai parameter c	35
Gambar 4.14	Grafik pengurangan nilai parameter C	37
Gambar 4.15	Grafik penggabungan nilai parameter C	37
Gambar 4.16	Grafik penambahan nilai parameter K dan C ..	39
Gambar 4.17	Grafik pengurangan nilai parameter k dan C ..	41
Gambar 4.18	Grafik penggabungan nilai parameter K dan C	41
Gambar 4.19	Grafik respon simpangan bodi kereta	42
Gambar 4.20	Grafik respon percepatan pada bodi kereta.....	43
Gambar 4.21	Grafik respon simpangan bodi kereta	45
Gambar 4.22	Grafik respon percepatan pada bodi kereta.....	45
Gambar 4.23	Grafik penambahan nilai parameter K	48
Gambar 4.24	Grafik penambahan nilai parameter C	49
Gambar 4.25	Grafik penambahan nilai parameter K dan C .	51
Gambar 4.26	Grafik respon simpangan pada bodi kereta.....	52
Gambar 4.27	Grafik respon percepatan pada bodi kereta.....	53
Gambar 4.28	Grafik respon simpangan pada bodi kereta.....	54
Gambar 4.29	Grafik Respon Percepatan Bodi Kereta	54
Gambar 4.30	Grafik Respon Percepatan Bodi Kereta	55
Gambar 4.31	Grafik respon simpangan pada bodi kereta.....	58
Gambar 4.32	Grafik respon percepatan bodi kereta	58
Gambar 4.33	Grafik respon simpangan pada bodi kereta.....	60
Gambar 4.34	Grafik respon percepatan bodi kereta	60
Gambar 4.35	Grafik respon simpangan pada bodi kereta.....	62
Gambar 4.36	Grafik respon percepatan bodi kereta	62
Gambar 4.37	Grafik respon simpangan pada bodi kereta.....	64
Gambar 4.38	Grafik respon percepatan bodi kereta	64

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Standar kenyamanan berdasarkan ISO 2631	16
Tabel 3.2 Parameter sistem suspensi model setengah badan kereta api	18
Tabel 4.1 Dimensi Penampang Rel	21
Tabel 4.2 Parameter dengan penambahan nilai K	31
Tabel 4.3 Respon transient suspensi dengan variasi parameter K	31
Tabel 4.4 Parameter pengurangan K	32
Tabel 4.5 Respon transient suspensi dengan variasi parameter K	33
Tabel 4.6 Parameter dengan penambahan nilai C	34
Tabel 4.7 Respon transient suspensi dengan variasi parameter C	35
Tabel 4.8 Parameter dengan pengurangan nilai C	36
Tabel 4.9 Respon transient suspensi dengan variasi parameter C	36
Tabel 4.10 Parameter dengan penambahan nilai K dan C	38
Tabel 4.11 Respon transient suspensi dengan variasi parameter K dan C	38
Tabel 4.12 Parameter dengan pengurangan nilai K dan C	40
Tabel 4.13 Respon transient suspensi dengan variasi parameter K dan C	40
Tabel 4.14 Penambahan C 50% dan pengurangan K 10%	42

Tabel 4.15 Respon transien suspensi kereta api dengan gangguan sinyal <i>step</i>	43
Tabel 4.16 Pengurangan C 50 % dan Penambahan K20%	44
Tabel 4.17 Respon transien suspensi kereta api dengan gangguan sinyal <i>step</i>	46
Tabel 4.18 Parameter Penambahan Nilai K	47
Tabel 4.19 Respon transient suspensi dengan variasi paramater K.....	47
Tabel 4.20 Parameter penambahan nilai C.....	48
Tabel 4.21 Respon transient suspensi dengan variasi paramater C	49
Tabel 4.22 Parameter penambahan nilai K dan C	50
Tabel 4.23 Respon transient suspensi dengan variasi paramater K dan C	50
Tabel 4.24 Penambahan C 50% dan pengurangan K 10%	52
Tabel 4.25 Respon transien suspensi kereta api dengan gangguan sinyal <i>impuls</i>	53
Tabel 4.26 Pengurangan C 50% dan penambahan K 20%	54
Tabel 4.27 Respon Transien Suspensi Kereta Api dengan gangguan sinyal <i>impuls</i>	55
Tabel 4.28 Parameter sistem suspensi model setengah badan kereta api dengan massa kosong	56
Tabel 4.29 Parameter sistem suspensi model setengah badan kereta api dengan massa penuh.....	57

Tabel 4.30 Respon transient suspensi kereta api dengan gangguan sinyal <i>step</i>	59
Tabel 4.31 Respon transient Suspensi kereta api dengan gangguan sinyal <i>impuls</i>	61
Tabel 4.32 Respon transient Suspensi kereta api dengan gangguan sinyal <i>step</i>	63
Tabel 4.33 Respon transien Suspensi kereta api dengan gangguan sinyal <i>impuls</i>	65

Halaman ini memang dikosongkan

DAFTAR ISTILAH

SINGKATAN

DOF	<i>Degree Of Freedom</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>

LATIN

a	Percepatan ISO2631
Cs	Koefisien Redaman Suspensi Sekunder
Cp	Koefisien Redaman Suspensi Primer
It	Momen Inersia pada bogie kereta
Ib	Momen Inersia pada bodi kereta
Kp	Koefisien Pegas Primer
Ks	Koefisien Pegas Sekunder
L	Panjang bodi kereta
Lb	Jarak antara titik pusat massa bodi kereta api dengan titik pusat dari massa bogie
Lw	Jarak antara titik pusat massa bogie kereta api dengan titik pusatroda
m/s	Satuan dari kecepatan
m/s ²	Satuan dari percepatan
Mb	Massa bodi kereta api
Mt	Massa bogie kereta api
Zw ₄	Input jalan roda depan
Zw ₃	Input jalan roda depan
Zw ₂	Input jalan roda belakang
Zw ₁	Input jalan roda belakang
Zt ₂₂	Simpangan pada roda depan
Zt ₂₁	Simpangan pada roda depan
Zt ₁₂	Simpangan pada roda belakang
Zt ₁₁	Simpangan pada roda belakang

Z_2

Simpangan suspensi sekunder depan

Z_1

Simpangan suspensi sekunder belakang

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kereta api merupakan salah satu jenis transportasi yang mempunyai daya angkut penumpang dalam jumlah banyak. Saat ini, kereta api dapat dianggap sebagai tulang punggung sistem transportasi darat berbagai wilayah di belahan dunia, termasuk di Indonesia jenis transportasi kereta api ini juga sangat diminati. Berdasarkan data BPS (Badan Pusat Statistik), jumlah penumpang kereta api mencapai 33.791 juta orang (Badan Pusat Statistika, 2017). Meningkat sekitar 17,65 % dibandingkan pada tahun sebelumnya. Dengan adanya peningkatan tersebut maka sistem perkeretaapian di Indonesia masih harus dikembangkan untuk massa yang akan datang. Kereta api sebagai transportasi dengan durasi perjalanan relatif panjang, kebutuhan akan keamanan dan kenyamanan dari kereta api itu sendiri menjadi sangat penting. Selain itu faktor getaran yang disebabkan oleh penyimpangan jalur atau rel kereta api yang kemudian di transmisikan melalui bogie dan badan kereta api juga sangat berpengaruh pada kenyamanan penumpang (Semiha Turkey, 2016).

Faktor penunjang keamanan dan kenyamanan yang utama adalah sistem suspensi. Sistem suspensi adalah sistem yang memberikan keamanan dan kenyamanan bagi penumpang. Kereta api mempunyai 2 sistem suspensi, yaitu suspensi primer (*primary suspension*) dan suspensi sekunder (*secondary suspension*) dimana setiap sistem suspensi mempunyai fungsi masing-masing. Suspensi primer adalah suspensi yang menghubungkan antara roda dan bogie, sedangkan suspensi sekunder adalah suspensi yang menghubungkan antara bogie dan bodi kereta. Sistem suspensi memegang peranan yang sangat penting pada kereta api. Suspensi primer berfungsi untuk kestabilan dan suspensi sekunder dapat meningkatkan kenyamanan.

Batasan getaran yang boleh dialami kendaraan telah ditetapkan dalam ISO 2631/1974 (ISO 2631-1, 1997). Untuk memenuhi kriteria yang telah ditetapkan tersebut, maka sistem suspensi kereta api harus didesain berdasarkan ketentuan yang telah ada agar mampu

menghadapi perubahan jalan, kecepatan dan massa muatan. Salah satu cara untuk meningkatkan performansi pada sistem suspensi sekunder kereta api adalah dengan memodifikasi nilai koefisien redaman dan koefisien pegas pada sistem suspensi sekunder dan primer kereta api. Nilai koefisien redaman dan koefisien pegas didapatkan dari hasil pemodelan dinamis sistem 1/2 kendaraan kereta api lalu disimulasikan dengan Simulink. Grafik yang diperoleh dari hasil simulasi dianalisis hingga mendapatkan nilai koefisien redaman yang paling efektif ditinjau dari segi kenyamanan. Sehingga dari permasalahan diatas diusulkan penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Kekakuan Dan Koefisien Redaman Pada Suspensi Kereta Api Untuk Kenyamanan Penumpang Ditinjau Dari *Center of Gravity*”.

1.2 Permasalahan

Dari latar belakang di atas terdapat permasalahan sebagai berikut:

- Bagaimana cara menentukan nilai parameter kekakuan pegas dan koefisien redaman pada jenis kereta api ekonomi dan eksekutif yang sesuai dengan respon gangguan yang diberikan?
- Bagaimana cara mendapatkan nilai parameter kekakuan pegas dan koefisien redaman redaman pada jenis kereta api ekonomi dan eksekutif yang sesuai dengan standar ISO 2631?

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Mengetahui nilai parameter kekakuan pegas dan koefisien redaman pada jenis kereta api ekonomi dan eksekutif yang sesuai dengan gangguan yang diberikan.
- Mengetahui nilai parameter kekakuan pegas dan koefisien redaman pada jenis kereta api ekonomi dan eksekutif yang dapat dihubungkan dengan standar ISO 2631.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Pemodelan sistem suspensi pada kereta api menggunakan $\frac{1}{2}$ badan kendaraan.
- Kereta yang dimodelkan adalah kereta penumpang
- Jenis bogie yang digunakan adalah (K-3)
- Massa yang digunakan adalah massa kereta kosong ditambah dengan massa penumpang dalam keadaan terisi penuh.
- Input lintasan yang digunakan adalah fungsi *step* dan *impuls*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dilakukan ini adalah mengendalikan getaran pada suspensi kereta api untuk mendapatkan kenyamanan pada penumpang sesuai dengan standart kenyamanan pada ISO 2631-1 dengan memvariasikan nilai parameter kekakuan pegas dan koefisien redaman pada suspensi kereta api.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan resmi ini dilakukan secara sistematis dan tersusun dalam lima bab dengan penjelasan sebagai berikut :

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini dijelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, dan sistematika laporan.

BAB II Dasar Teori

Pada bab ini dijelaskan mengenai getaran, redaman, jenis-jenis getaran teredam, pemodelan sistem suspensi kereta api menggunakan setengah badan kereta dan nilai nilai kenyamanan sesuai dengan standart ISO 2631.

BAB III Metodologi Percobaan

Pada bab ini dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam tugas akhir ini.

BAB IV Analisis Data dan Pembahasan

Pada bab ini dilakukan analisis data kemudian dilakukan pembahasan dari hasil simulasi.

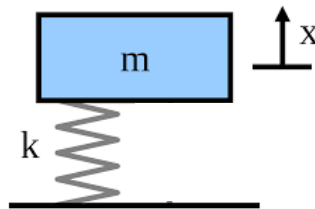
BAB V Penutup

Bab ini berisi tentang simpulan dari penelitian tugas akhir yang telah dilakukan dan saran untuk perbaikan penelitian selanjutnya.

BAB II DASAR TEORI

2.1 Getaran

Getaran merupakan gerakan berulang-ulang melewati titik setimbangnya secara kontinu dari suatu struktur atau komponen. Dalam permodelan dari suatu getaran, dimisalkan dengan massa dan pegas, dengan diberi perlakuan berupa kinetik dan potensial pada suatu massa tersebut, dan pegas sebagai medium untuk menyimpan energi potensial yang diberikan kepada massa. Sistem permodelan getaran sederhana ini terjadi perubahan antara energi kinetik ke energi potensial dan sebaliknya. (Rao, Mechanical Vibration, 2010)



Gambar 2.1 Sistem permodelan getaran sederhana

Persamaan sistem permodelan sederhana di atas yaitu :

$$m\ddot{x} + kx = 0 \quad (2.1)$$

Dengan :

m = massa benda

k = konstanta pegas

\ddot{x} = Percepatan massa m

x = simpangan massa m

2.2 Redaman

Redaman merupakan faktor yang menyebabkan penurunan terhadap amplitudo dalam suatu getaran sebagai hasil dari energi yang diserap oleh komponen penyerap energi.

Dalam permodelan getaran sederhana komponen yang berperan adalah peredam. Persamaan model dari peredam adalah :

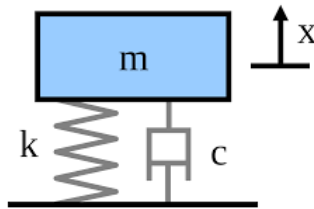
$$F = c \cdot \dot{x} \quad (2.2)$$

Dimana :

c = koefisien redaman

\dot{x} = kecepatan

Sehingga apabila digambarkan dalam model getaran sederhana menjadi :



Gambar 2.2 Sistem permodelan getaran sederhana dengan redaman

Permodelan pada gambar 2.2 memiliki persamaan yaitu :

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.3)$$

2.3 Jenis – Jenis Getaran Teredam

Getaran yang terdapat gaya penghambat atau gaya gesekan yang pada akhirnya getaran itu akan berhenti. Gaya penghambat itu dikenal dengan gaya redam. Gaya redam merupakan fungsi linier dari kecepatan, $F_d = -c \, dx/dt$. Jika suatu partikel bermassa m bergerak di bawah pengaruh gaya pulih linier dan gaya hambat, maka persamaannya menjadi:

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.4)$$

Persamaan umum sistem dinamik orde 2:

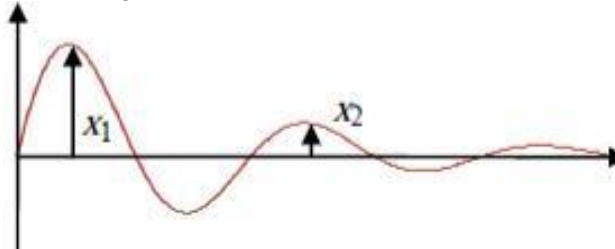
$$\ddot{x} + 2\zeta\omega_0 \dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad (2.5)$$

jika persamaan (2.4) dibandingkan dengan persamaan (2.5), maka didapatkan $2\zeta\omega_0 = c/m$. Untuk suatu sistem yang

berosilasi dengan redaman kritis, harga redaman kritis dinyatakan dengan C_{cr} dimana,

$$c_{cr} = 2\sqrt{k \cdot m} \quad (2.6)$$

Metode eksperimental untuk menentukan koefisien redaman dari suatu sistem adalah dengan memberikan getaran bebas, kemudian didapatkan rekaman dari gerak osilasi, seperti yang terdapat pada gambar 2.3, serta mengukur pengurangan amplitudo dari gerak tersebut.



Gambar 2.3 Peluruhan logaritmis amplitudo getaran

Pada gambar 2.3 diatas pengurangan dapat terlihat jelas meluruh secara logaritmis. Peluruhan logaritmis dinotasikan dengan simbol δ dimana didefinisikan sebagai logaritma natural dari ratio dua puncak amplitudo berurutan x_1 dan x_2 dari getaran bebas, adapun persamaannya adalah

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} \quad (2.7)$$

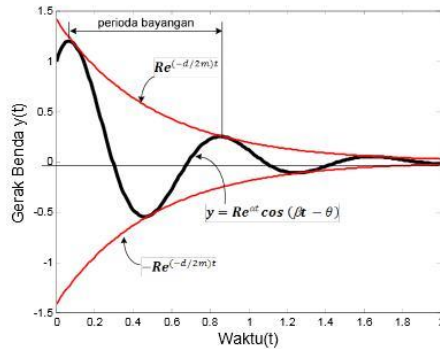
Damping ratio suatu sistem dinyatakan sebagai

$$\xi = \frac{\delta}{\sqrt{\delta^2 + 4\pi^2}} \quad (2.8)$$

2.3.1 Getaran Kurang Tereدام (*under-damped*)

Getaran kurang teredam didefinisikan sebagai getaran dengan peluruhan logaritmik. Grafik respon osilasi getaran kurang teredam dapat dilihat pada gambar 2.4. Kemudian jika $0 \leq \xi \leq 1$ dan frekuensi getaran teredam dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

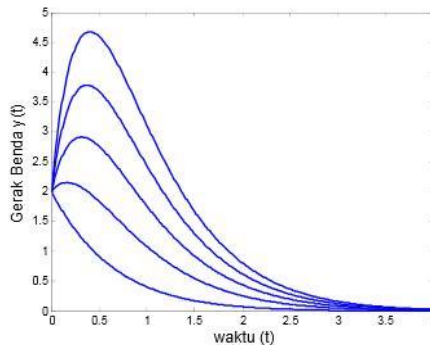
$$\omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2} \quad (2.9)$$



Gambar 2.4 Respon osilasi getaran kurang teredam (*under-damped*)

2.3.2 Getaran Teredam Kritis (*Critically-damped*)

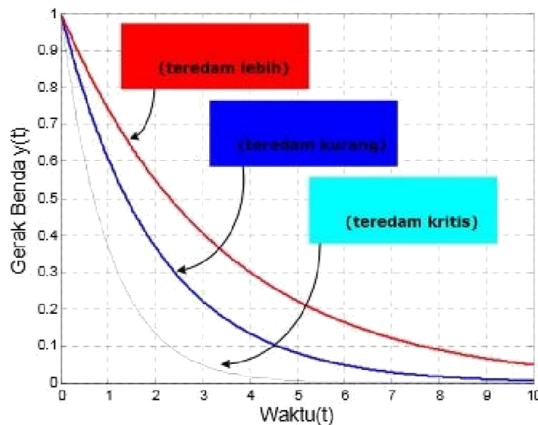
Getaran teredam kritis akan mendekati kesetimbangan dengan suatu kadar laju yang lebih cepat daripada gerak terlampaui redam maupun gerak kurang redam. Getaran redaman kritis akan terjadi jika rasio redamannya sama dengan satu. Dapat dilihat respon osilasi getaran teredam kritis pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Respon osilasi getaran teredam kritis (*critically-damped*)

2.3.2 Getaran Teredam Lebih (*Over-damped*)

Pada gerak terlampau teredam tidak menggambarkan getaran periodik (gerakan bolak balik), simpangan getaran akan berkurang atau sama sekali tidak bergerak tetap berada posisi kesetimbangan atau bisa dikatakan *overshoot* yang terjadi sangat kecil. Ini terjadi jika nilai rasio redaman lebih dari satu ($\zeta > 1$). Dapat dilihat respon osilasi getaran teredam lebih pada gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Respon osilasi getaran teredam lebih (*over-damped*)

2.4 Karakteristik Respon Transient

Sistem pengontrolan dirancang agar sesuai dengan beberapa pasangan spesifikasi, dimana cara yang umum untuk menilai dan memperinci sistem tersebut adalah dengan menentukan respon transienya terhadap masukan berbentuk fungsi tangga. Untuk sistem orde-2 parameter yang akan memberikan karakteristik sistem tersebut adalah perbandingan redaman dan frekuensi resonansi. Sistem teredam lebih (*overdamped*) memiliki respon yang relative lambat dan tidak berosilasi sekitar nilai akhirnya. Dalam beberapa pemakaian, keadaan ini dapat menjadi lebih berarti, misalnya gerakan

elevator yang tidak diinginkan berosilasi setiap berhenti. Sistem kurang teredam (*underdamped*), akan mencapai suatu nilai akhir yang lebih cepat daripada *overdamped*, tetapi responnya akan berosilasi sekitar nilai akhirnya. Selama osilasi ini dapat ditolerir sistem *underdamped* memberikan tindakan yang lebih cepat; dan pada umumnya lebih disenangi dalam pengaturan posisi alat mesin dalam menghasilkan respons terhadap sederetan perintah-perintah masukan.

Respon terhadap fungsi tangga sebagai masukan dapat dikenali dari empat besaran yaitu:

1. Waktu naik (*rise time*, t_r)

Yakni waktu yang dibutuhkan oleh respon agar bertambah dari 10 % menjadi 90 % dari nilai akhir (*steady-state*).

2. Lonjakan (*over-shot*, M_p)

Untuk lonjakan pertama, besarnya dinyatakan dalam presentase nilai akhir, yang secara sistematis dituliskan:

$$\%M = \frac{M - y_{ss}}{y_{ss}} \times 100\% \quad (2.10)$$

dimana,

M = nilai lonjakan maksimum

y_{ss} = nilai y dalam keadaan “*steady state*”

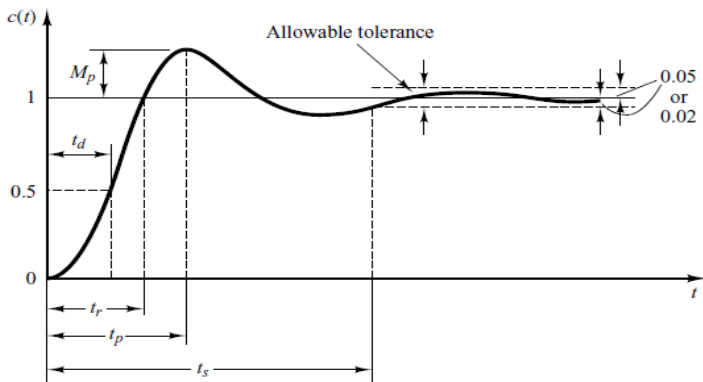
3. *Settling-time* (t_s)

Adalah waktu yang dibutuhkan oleh keluaran agar nilainya turun dari akhir ke suatu harga tertentu (dalam persen), dan selanjutnya tetap berada pada harga tersebut.

4. *Delay Time* (t_d)

Ukuran waktu yang menyatakan faktor keterlambatan respon output terhadap input.

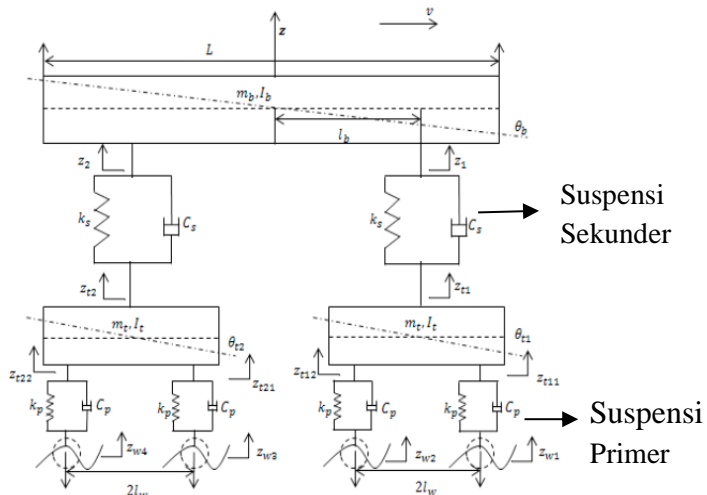
Untuk lebih memahami karakteristik respon transien sistem, gambar 2.7 dibawah menunjukkan masing-masing karakteristik dari grafik respon.



Gambar 2.7 Grafik respon transient (M.Ali, 2004)

2.5 Sistem Pemodelan Suspensi Setengah Bagian Kendaraan Kereta Api

Sistem pemodelan suspense setengah badan kereta api dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8 Sistem permodelan suspensi setengah badan kereta api (Semiha Turkey, 2016)

Pada gambar 2.8 diatas merupakan permodelan fisis dari suspensi setengah badan kereta api. Mb merupakan massa dari badan kereta api, ks merupakan konstanta pegas antara massa badan kereta api dengan massa bogie, cs merupakan konstanta redaman antara massa badan kereta api dengan massa bogie, lb merupakan jarak antara titik pusat massa badan kereta api dengan titik pusat dari massa bogie. Z1 dan Z2 merupakan simpangan yang dihasilkan dari massa badan kereta api.

Mt2 dan Mt1 merupakan massa dari bogie kereta api bagian depan dan belakang, kp2 dan kp1 merupakan konstanta pegas antara bogie kereta api dengan roda bagian depan dan belakang kereta api, cp2 dan cp1 merupakan konstanta redaman antara massa bogie kereta api dengan roda bagian depan dan belakang, lw2 dan lw1 merupakan jarak antara titik pusat massa bogie kereta api dengan titik pusat roda bagian depan dan belakang, sedangkan Zt22, Zt21, Zt12 dan Zt11 merupakan simpangan yang dihasilkan oleh massa dari bogie kereta api. I merupakan momen inersia yang terdapat pada massa badan kereta api, dan juga bogie sehingga menghasilkan respon pitch atau jungkat jungkit sedangkan θ merupakan respon rotasi yang dihasilkan dari massa badan kereta api dan juga bogie. Zw4, Zw3, Zw2 dan Zw1 merupakan inputan jalan pada roda bagian depan dan belakang.

Dari permodelan fisis suspensi setengah badan kereta api diatas didapatkan pemodelan matematis sebagai berikut :

Tinjau massa badan kereta api Mb

$$m_b \ddot{z} = -k_{s2} \left(Z_2 + \left(\frac{L}{2} - l_{b2} \right) \theta - Z_{t2} \right) - C_{s2} \left(\dot{Z}_2 + \left(\frac{L}{2} - l_{b2} \right) \dot{\theta} - \dot{Z}_{t2} \right) - k_{s1} \left(Z_1 + \left(\frac{L}{2} - l_{b1} \right) \theta - Z_{t1} \right) - C_{s1} \left(\dot{Z}_1 + \left(\frac{L}{2} - l_{b1} \right) \dot{\theta} - \dot{Z}_{t1} \right) \quad (2.11)$$

Tinjau Inersia badan kereta api I

$$I_b \ddot{\theta} = \left(\frac{L}{2} - l_{b2} \right) k_{s2} \left(Z_2 + \left(\frac{L}{2} - l_{b2} \right) \theta - Z_{t2} \right) - \left(\frac{L}{2} - l_{b2} \right) C_{s2} \left(\dot{Z}_2 + \left(\frac{L}{2} - l_{b2} \right) \dot{\theta} - \dot{Z}_{t2} \right) - \left(\frac{L}{2} - l_{b1} \right) k_{s1} \left(Z_1 + \left(\frac{L}{2} - l_{b1} \right) \theta - Z_{t1} \right) - \left(\frac{L}{2} - l_{b1} \right) C_{s1} \left(\dot{Z}_1 + \left(\frac{L}{2} - l_{b1} \right) \dot{\theta} - \dot{Z}_{t1} \right) \quad (2.12)$$

Tinjau massa bogie depan kereta api Mt2

$$m_{t2}\ddot{Z}_{t2} = k_{s2} \left(Z_2 + \left(\frac{L}{2} - l_{b2} \right) \theta - Z_{t2} \right) + C_{s2} \left(\dot{Z}_2 + \left(\frac{L}{2} - l_{b2} \right) \dot{\theta} - \dot{Z}_{t2} \right) - k_{p1} (Z_{t2} + l_{w1} \theta - Z_{w3}) - C_{p1} (\dot{Z}_{t2} + l_{w1} \dot{\theta} - \dot{Z}_{w3}) - k_{p2} (Z_{t1} + l_{w2} \theta - Z_{w4}) - C_{p2} (\dot{Z}_{t1} + l_{w2} \dot{\theta} - \dot{Z}_{w4}) \quad (2.13)$$

Tinjau Inersia bogie depan kereta api It2

$$I_t \ddot{\theta} = l_w k_{p1} (Z_{t2} - l_{w1} \theta - Z_{w3}) + l_w C_{p1} (\dot{Z}_{t2} + l_{w1} \dot{\theta} - \dot{Z}_{w3}) - l_{w2} k_{p2} (Z_{t1} + l_{w2} \theta - Z_{w4}) - l_{w2} C_{p2} (\dot{Z}_{t1} + l_{w2} \dot{\theta} - \dot{Z}_{w4}) \quad (2.14)$$

Tinjau massa bogie belakang kereta api Mt1

$$m_{t1}\ddot{Z}_{t1} = k_{s1} \left(Z_1 + \left(\frac{L}{2} - l_{b1} \right) \theta - Z_{t1} \right) + C_{s1} \left(\dot{Z}_1 + \left(\frac{L}{2} - l_{b1} \right) \dot{\theta} - \dot{Z}_{t1} \right) - k_{p1} (Z_{t1} - l_{w1} \theta - Z_{w2}) - C_{p1} (\dot{Z}_{t1} - l_{w1} \dot{\theta} - \dot{Z}_{w2}) - k_{p2} (Z_{t2} - l_{w2} \theta - Z_{w2}) - C_{p2} (\dot{Z}_{t2} - l_{w2} \dot{\theta} - \dot{Z}_{w2}) \quad (2.15)$$

Tinjau Inersia bogie belakang kereta api It1

$$I_t \ddot{\theta} = l_w k_{p1} (Z_{t2} - l_{w1} \theta - Z_{w1}) + l_w C_{p1} (\dot{Z}_{t2} + l_{w1} \dot{\theta} - \dot{Z}_{w1}) - l_{w2} k_{p2} (Z_{t1} + l_{w2} \theta - Z_{w2}) - l_{w2} C_{p2} (\dot{Z}_{t1} + l_{w2} \dot{\theta} - \dot{Z}_{w2}) \quad (2.16)$$

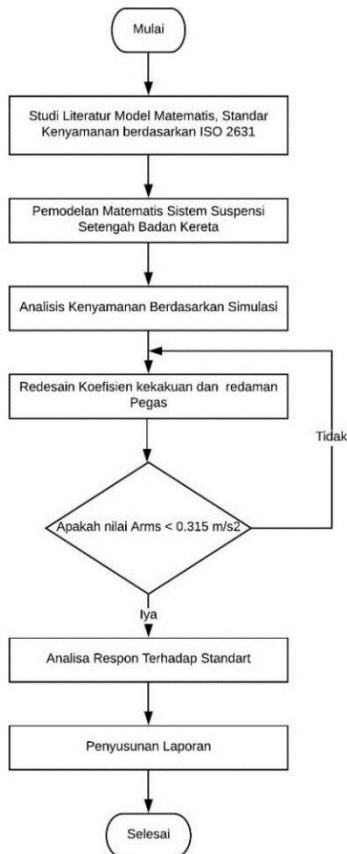
Dari permodelan matematis diatas dapat dijelaskan bahwa pada persamaan 2.11 untuk mendapatkan nilai percepatan, kecepatan, dan simpangan dari badan kereta api. Pada persamaan 2.12 untuk mendapatkan nilai percepatan rotasi, kecepatan rotasi, dan rotasi dari badan kereta api. Pada persamaan 2.13 untuk mendapatkan nilai percepatan, kecepatan, dan simpangan dari bogie depan kereta api. Pada persamaan 2.14 untuk mendapatkan nilai percepatan rotasi, kecepatan rotasi, dan rotasi dari bogie depan kereta api. Pada persamaan 2.15 untuk mendapatkan nilai percepatan rotasi, kecepatan rotasi, dan rotasi dari bogie belakang kereta api. Pada persamaan 2.16 untuk mendapatkan nilai percepatan rotasi, kecepatan rotasi, dan rotasi dari bogie belakang kereta api.

Halaman ini memang dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tentang langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. *Flowchart* dari penelitian ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.1 Standar Kenyamanan Berkendara

Ada beberapa standar yang mengatur mengenai batas getaran dari mesin berputar yang boleh terpapar tubuh manusia, salah satunya adalah ISO 2631. Berdasarkan ISO 2631 standar kenyamanan ditentukan oleh nilai RMS dari percepatan getaran yang dipaparkan. Standar ini mengaju pada kereta penumpang dalam kondisi kosong (tanpa penumpang). Secara lebih detail dijabarkan pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Standar kenyamanan berdasarkan ISO 2631

Nilai RMS Percepatan	Kriteria Kenyamanan
$a < 0.315 \text{ m/s}^2$	<i>Not Uncomfortable</i>
$0.315 < a < 0.63 \text{ m/s}^2$	<i>A little Uncomfortable</i>
$0.5 < a < 1 \text{ m/s}^2$	<i>Fairy Uncomfortable</i>
$0.8 < a < 1.6 \text{ m/s}^2$	<i>Uncomfortable</i>
$1.25 < a < 2.5 \text{ m/s}^2$	<i>Very Uncomfortable</i>
$a > 2.5 \text{ m/s}^2$	<i>Extremely Uncomfortable</i>

Untuk a RMS sendiri dihitung menggunakan persamaan berikut:

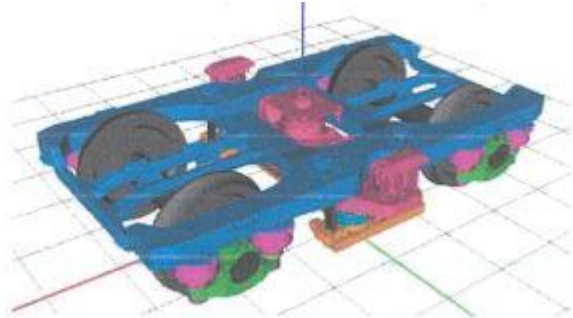
$$a_{RMS} = \frac{\sqrt{\sum a_{wi}^2 \cdot T_i}}{\sum T_i} \quad (3.1)$$

Dimana pada persamaan tersebut a adalah percepatan gelombang dan T merupakan waktu. Parameter-parameter diatas adalah nilai keluaran yang dijadikan acuan untuk menentukan redesain yang baik untuk sistem suspensi pada tugas akhir ini (Hrovat, 2011).

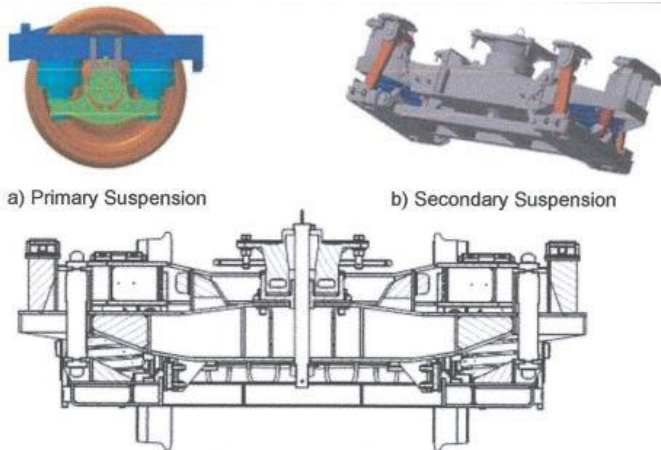
3.2 Parameter Sistem Suspensi Pada Kereta Api

Jenis kereta api yang digunakan sebagai parameter sistem suspensi pada tugas akhir ini adalah kereta ekonomi (K-3) seperti yang ditunjuk oleh gambar 3.2. Dimana desain bogie dari kereta ekonomi (K-3) ini adalah *non-articulated bogie* menggunakan TB 1014. Bahan dari suspensi primer dari bogie ini sendiri terbuat dari *conical rubber spring* sedangkan pada

suspensi sekunder menggunakan coil spring, vertikal *oil damper*, dan lateral *oil damper*. Dari spesifikasi yang terdapat pada sistem suspensi ini maka akan diubah ke dalam parameter yang sesuai dengan permodelan setengah badan kereta api.



Gambar 3.2 Bogie TB 1014 (Sumber PT.INKA)



Gambar 3.3 Sistem Bogie TB 1014 (Sumber PT. INKA)

Tabel 3.2 Parameter sistem suspensi model setengah badan kereta api

Variabel	Keterangan	Nilai
Mb	Massa Bodi Kereta	31700 kg
Mt	Massa Bogie Kereta	9690 kg
lb	Inersia picth pada bodi kereta	1220000 kg.m ²
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813 kg.m ²
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700 N.s.m ⁻¹
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000 N.s.m ⁻¹
Kp	Koefisien pegas primer	882000 N.m ⁻¹
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000 N.m ⁻¹
lw	Jarak antara titik pusat massa bogie kereta api dengan titik pusat roda	0,0025 m
L	Panjang bodi kereta	24,5 m
lb	Jarak antara titik pusat massa badan kereta api dengan titik pusat dari massa bogie	8,75 m

3.3 Redesain Sistem Suspensi

Redesain sistem suspensi dilakukan dengan asumsi peredam yang digunakan untuk suspensi aktual dan redesain sama. Sehingga redesain sistem suspensi terfokus pada pegas suspensi. Dimana pada saat simulasi untuk melakukan redesain redesain pegas tersebut mengacu pada variasi rasio redaman yang menghasilkan respon getaran yang paling baik bagi tubuh manusia. Penentuan konstanta pegas redesain sesuai dengan perumusan (2) dan (3) sebagai berikut (Gagorowski, 2010) :

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (3.2)$$

$$C_c = 2\sqrt{k \times m} \quad (3.3)$$

Dimana :

- ζ : Rasio redaman
- C : Konstanta redaman suspensi
- C_c : Konstanta redaman kritis suspensi
- k : Konstanta kekakuan pegas
- M : Massa

3.4 Profil Lintasan Jalan

Untuk menguji sistem suspensi pasif pada tugas akhir ini digunakan 2 *input disturbance* yaitu fungsi *step* dan *impuls* (Tome, 2012). Dimana dari kedua jenis inputan tersebut akan dianalisa respon yang dihasilkan dari sistem suspensi yang dirancang.

Profil lintasan yang diberikan pada roda depan dan belakang merupakan profil lintasan yang sama hanya saja terdapat waktu delay sebesar τ untuk roda belakang. Karena lintasan jalan yang dilewati oleh roda depan akan dilewati juga oleh roda belakang sebesar τ sekon. Besarnya τ didapatkan dari persamaan berikut :

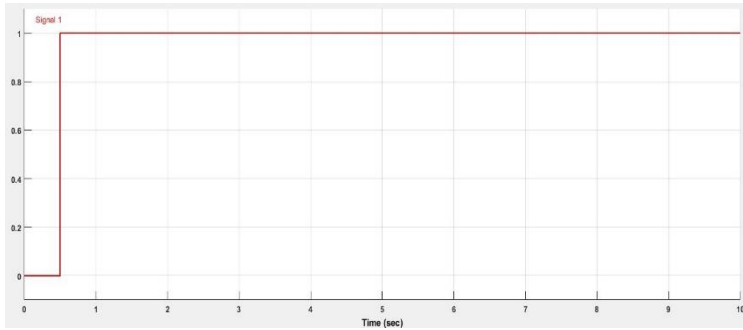
$$\tau = \frac{L_w}{v} \quad (3.4)$$

L_w adalah panjang *wheelbase* atau jarak antara titik pusat roda depan dan roda belakang. Dan v merupakan laju kecepatan. (Kirli, 2015)

3.4.1. Fungsi Step

Profil lintasan *step* menunjukkan perubahan ketinggian kontur jalan yang memiliki luasan lebih luas dari luasan kereta api, sehingga seluruh bodi kereta api tersimpang setinggi perubahan ketinggian kontur jalan. Perubahan kontur jalan yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 0.22 m atau 220 mm yang mengaju terlihat pada gambar 3.4. ((PM), 2012)

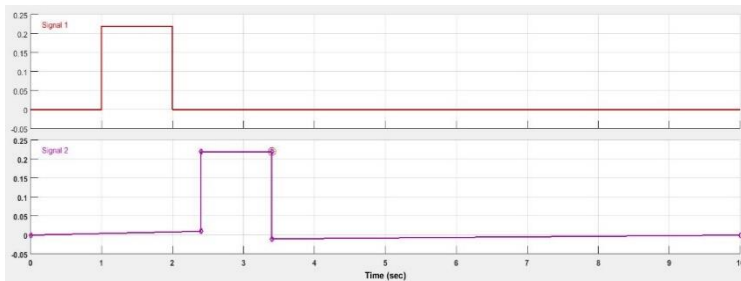
$$f(x) = \begin{cases} 0.22, & x \geq 0.5 \\ 0, & x < 0.5 \end{cases} \quad (3.5)$$



Gambar 3.4 Profil lintasan *step*

3.4.2. Fungsi *Impuls*

Profil lintasan *impuls* yang digunakan memiliki tinggi 0.22 m atau 220 mm dan dikenakan pada roda depan kereta api selama 1 s, kemudian pada roda depan kereta api dikenakan selama 1 s juga dengan penambahan delay waktu sebesar 0,44 s sebelum mengenai roda belakang. Asumsi kereta api berjalan dengan kecepatan 80 km/jam. Grafik sinyal *impuls* tersebut ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3.5 Profil sinyal *impuls*

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan didiskusikan mengenai performansi pada sistem suspensi setengah badan kereta api jenis ekonomi (K-3) dan kereta eksekutif (K1-Argo) yang disimulasikan dengan software simulink Matlab. Pemodelan yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran.

4.1 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3)

Pada subbab ini ditampilkan hasil respon simpangan dan percepatan pada bodi kereta api untuk masing-masing input lintasan *step* dan *impuls*. Respon sistem suspensi ini digunakan untuk melihat performansi sistem apakah sudah memenuhi kriteria dari ISO 2631 atau belum. Selanjutnya respon inilah yang dijadikan acuan untuk melakukan redesain pada nilai konstanta redaman dan pegas.

4.1.1. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Dengan Input Step

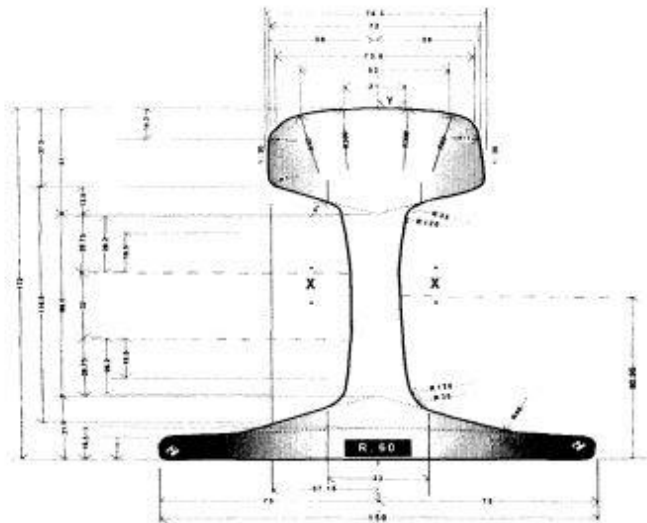
Pada hasil simulasi sistem suspensi dengan input *step* ini diberikan inputan dengan amplitudo gangguan sebesar 0.051 m atau 51 mm. Besarnya nilai gangguan tersebut berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan mengenai Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api dengan tipe rel yang digunakan adalah R60 seperti pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Dimensi Penampang Rel

Besaran Geometri Rel	Tipe Rel			
	R42	R50	R54	R60
H (mm)	138,00	153,00	159,00	172,00
B (mm)	110,00	127,00	140,00	150,00
C (mm)	68,50	65,00	70,00	74,30
D (mm)	13,50	15,00	60,00	16,50

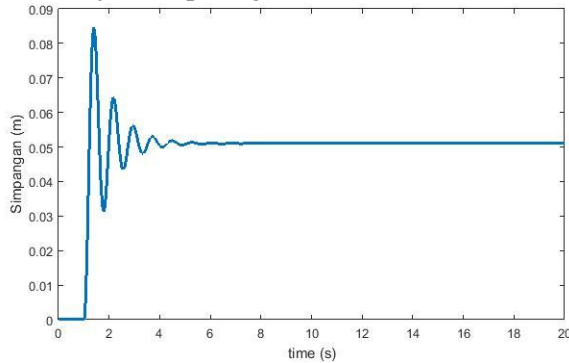
Tabel lanjutan 4.1 Dimensi Penampang rel

E (mm)	40,50	49,00	49,40	51,00
F (mm)	23,50	30,00	30,20	31,50
G (mm)	72,00	76,00	74,79	80,95
R (mm)	320,00	500,00	508,00	120,00
A (cm ²)	54,26	64,20	69,34	76,86
W (kg/m)	42,59	50,40	54,43	60,34
I _X (cm ⁴)	1369	1960	2346	3055
Y _B (mm)	68,50	71,60	76,20	80,95
A = Luas Penampang				
W= Berat rel permeter				
I _X = Momen Inersia terhadap sumbu x				
Y _B = Jarak tepi bawah rel ke garis netral				

**Gambar 4.1** Ukuran penampang rel R60 ((PM), 2012)

Selanjutnya didapatkan respon simpangan dan percepatan pada bodi kereta api akibat gangguan input *step* pada

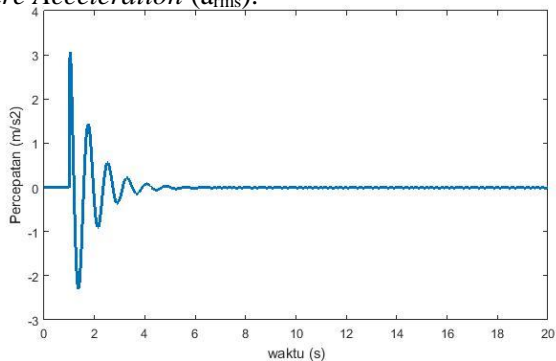
roda depan dan belakang kereta api dengan kecepatan 80 km/jam ditunjukkan pada gambar 4.2 dan 4.3



Gambar 4.2 Respon simpangan bodi kereta api

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa sistem mengalami osilasi sebelum mencapai kondisi *steady*. Respon simpangan pada bodi kereta api menghasilkan nilai *maximum overshoot* sebesar 0.034 m dan *settling time* 6.8 s.

Selanjutnya dari respon simpangan yang telah didapatkan pada gambar 4.2 diatas diturunkan untuk mengetahui respon percepatan pada bodi kereta api akibat getaran yang ditambahkan. Pada penjelasan sebelumnya bahwa parameter kenyamanan menurut ISO 2631 adalah dari nilai *Root Mean Square Acceleration* (a_{rms}).

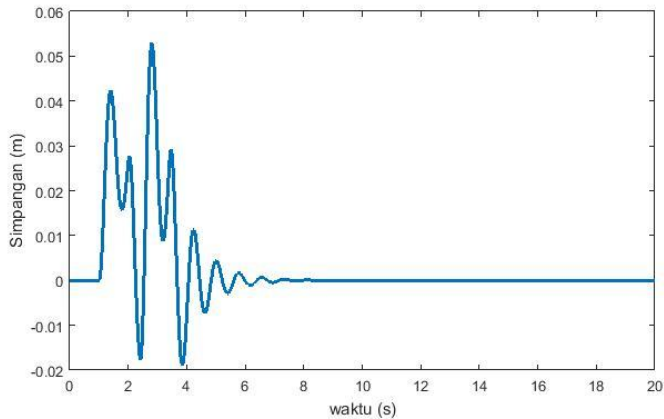


Gambar 4.3 Respon percepatan bodi kereta api

Pada grafik respon percepatan bodi kereta api diatas dapat dilihat bahwa sistem mengalami osilasi percepatan sebelum akhirnya berhenti pada angka nol, hal tersebut terjadi karena percepatan merupakan turunan terhadap waktu dari simpangan, sehingga respon percepatan mencapai kondisi *steady* yang tidak berubah ubah lagi, maka percepatan getar akan bernilai nol karena pada respon simpangan keadaan *steady* dicapai pada saat 0.051 m. Respon percepatan diatas menghasilkan nilai arms sebesar 0.13 m/s^2 . Nilai tersebut sudah sesuai dengan standart kenyamanan berdasarkan ISO 2631 apabila kondisi celah pemasangan pada rel kereta api yang dibuat sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan.

4.1.2. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Dengan Input *Impuls*

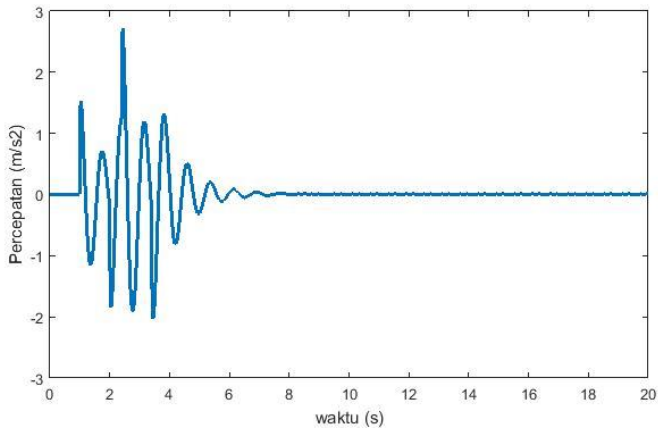
Gangguan kedua yang diberikan pada sistem suspensi setengah badan kereta api adalah sinyal *impuls*. Sinyal *impuls* berfungsi untuk mengetahui reaksi sistem terhadap gangguan yang datang secara tiba-tiba pada selang waktu yang singkat dan kemudian gangguan tersebut hilang. Sinyal gangguan *impuls* berasal dari celah penyambungan rel kereta. Pada sinyal *impuls* ini roda depan kereta api dikenakan gangguan selama 1 s kemudian ditambahkan *delay* waktu sebesar 0,44 s sebelum gangguan mengenai roda belakang dengan kecepatan kereta api sebesar 80 km/jam. Besarnya amplitudo gangguan yang diberikan sebesar 0.051 m atau 51 mm. Selanjutnya akan diketahui respon suspensi dari simpangan dan percepatan bodi kereta api akibat gangguan input *impuls* yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dan 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.4 Respon simpangan bodi kereta api

Dari gambar diatas diketahui bahwa sistem awalnya diam ditunjukkan pada grafik angka nol kemudian mengalami osilasi dimulai pada detik pertama (saat gangguan diberikan) pada roda depan kereta api dan gangguan tersebut belum hilang sudah disusul gangguan yang ada pada roda belakang, kemudian segera kembali ke posisi semula setelah gangguan tersebut hilang.

Respon simpangan pada bodi kereta api dari suspensi ini menghasilkan nilai *maximum overshoot* sebesar 0.053 m dan *settling time* 5.8 s. Untuk selanjutnya respon simpangan pada gambar 4.4 tersebut diturunkan untuk mengetahui respon percepatan bodi kereta api, dari pembahasan sebelumnya sudah dijelaskan bahwa parameter kenyamanan menurut ISO 2631 adalah dari nilai *Root Mean Square Acceleration* (a_{rms}).



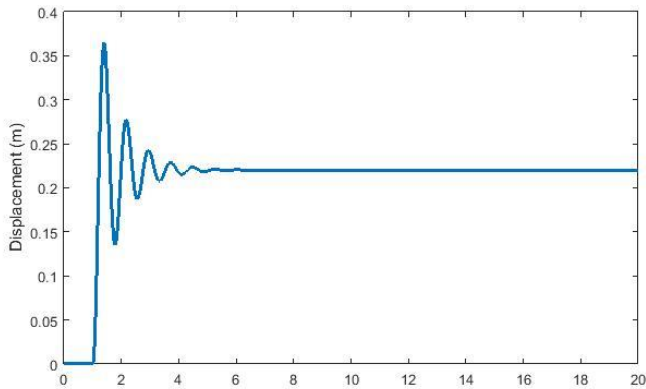
Gambar 4.5 Respon percepatan bodi kereta api

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa bodi kereta api mengalami osilasi percepatan sebelum akhirnya berhenti (grafik menunjukkan angka nol), hal ini dikarenakan percepatan adalah turunan terhadap waktu dari simpangan, jadi apabila simpangan mencapai kondisi *steady* dalam kasus input *impulse* ini kembali ke keadaan semua dimana simpangannya nol, maka percepatannya juga akan bernilai nol.

Respon percepatan diatas menghasilkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebesar 0.17 m/s^2 . Nilai a_{rms} tersebut sesuai dengan standar kenyamanan yang sudah ada. Sehingga dengan adanya input gangguan yang diberikan pada bodi kereta api yang sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan menghasilkan kenyamanan yang memenuhi Standart ISO 2631. Selanjutnya dilakukan perubahan input gangguan pada bodi kereta api yaitu sebesar 220 mm atau 22 cm yang bertujuan untuk mengetahui performansi kenyamanan pada bodi kereta api tersebut masih memenuhi Standart Kenyamanan sesuai ISO 2631 ataukah tidak.

4.2 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Dengan Input *Step*

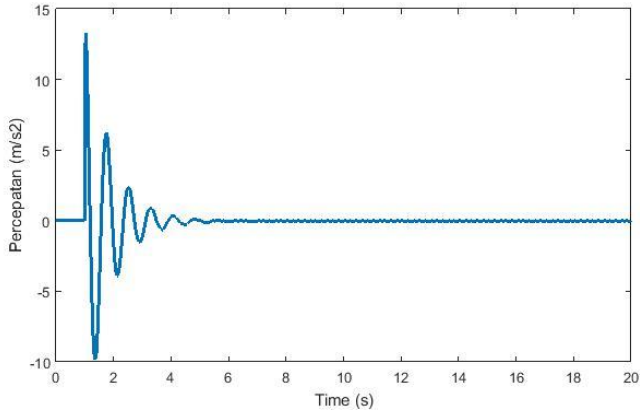
Pada hasil simulasi sistem suspensi dengan input *step* ini diberikan inputan dengan amplitudo gangguan sebesar 0.22 m atau 220 mm dengan kondisi ketinggian gangguan sesuai dengan tinggi rel kereta api berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan mengenai Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. Selanjutnya didapatkan respon simpangan dan percepatan pada bodi kereta api akibat gangguan input *step* pada roda depan dan belakang kereta api dengan kecepatan 80 km/jam ditunjukkan pada gambar 4.6 dan 4.7



Gambar 4.6 Respon simpangan bodi kereta api

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa sistem mengalami osilasi sebelum mencapai kondisi *steady*. Respon simpangan pada bodi kereta api menghasilkan nilai *maximum overshoot* sebesar 0.145 m dan *settling time* 6.6 s.

Selanjutnya respon simpangan yang telah didapatkan tersebut diturunkan untuk mengetahui respon percepatan pada bodi kereta api akibat getaran yang ditambahkan. Pada penjelasan sebelumnya bahwa parameter kenyamanan menurut ISO 2631 adalah dari nilai *Root Mean Square Acceleration* (a_{rms}).



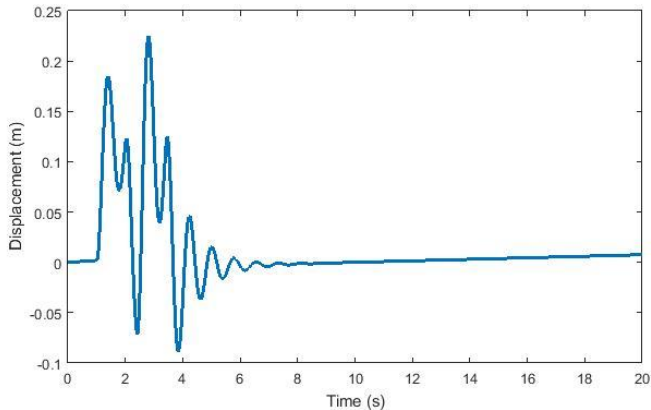
Gambar 4.7 Respon Percepatan Bodi Kereta Api

Pada grafik respon percepatan bodi kereta api diatas dapat dilihat bahwa sistem mengalami osilasi percepatan sebelum akhirnya berhenti pada angka nol, hal tersebut terjadi karena percepatan merupakan turunan terhadap waktu dari simpangan, sehingga respon percepatan mencapai kondisi *steady* yang tidak berubah ubah lagi, maka percepatan akan bernilai 0 karena pada respon simpangan keadaan *steady* dicapai pada saat 0.220 m. Respon percepatan diatas menghasilkan nilai arms sebesar 0.57 m/s^2 . Nilai tersebut masih belum sesuai dengan standar kenyamanan ISO 2631. Sehingga dengan parameter nilai koefisien redaman dan kekakuan pegas pada sistem diatas perlu dilakukan pemilihan parameter terbaik untuk mendapatkan nilai parameter yang sesuai dengan standart kenyamanan ISO 2631.

4.3 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Dengan Input *Impuls*

Gangguan kedua yang diberikan pada sistem suspensi setengah badan kereta api adalah sinyal *impuls*. Sinyal *impuls* berfungsi untuk mengetahui reaksi sistem terhadap gangguan yang datang secara tiba-tiba pada selang waktu yang singkat dan kemudian gangguan tersebut hilang. Pada sinyal *impuls* ini roda depan kereta api dikenakan gangguan selama 1 s kemudian ditambahkan *delay* waktu sebesar 0,44 s sebelum gangguan

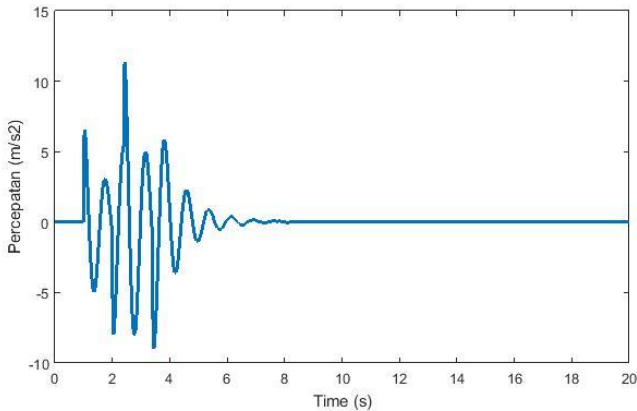
mengenai roda belakang dengan kecepatan kereta api sebesar 80 km/jam. Besarnya amplitudo gangguan yang diberikan sebesar 0.220 m atau 220 mm. Selanjutnya akan diketahui respon suspensi dari simpangan dan percepatan bodi kereta api akibat gangguan input *impuls* yang ditunjukkan pada gambar 4.8 dan 4.9 dibawah ini.



Gambar 4.8 Respon simpangan bodi kereta api

Dari gambar diatas diketahui bahwa sistem awalnya diam ditunjukkan pada grafik angka nol kemudian mengalami osilasi dimulai pada detik pertama (saat gangguan diberikan) pada roda depan kereta api dan gangguan tersebut belum hilang sudah disusul gangguan yang ada pada roda belakang, kemudian segera kembali ke posisi semula setelah gangguan tersebut hilang.

Respon simpangan pada bodi kereta api dari suspensi ini menghasilkan nilai *maximum overshoot* sebesar 0.225 m dan *settling time* 6.5 s. Untuk selanjutnya respon simpangan pada gambar 4.8 tersebut diturunkan untuk mengetahui respon percepatan bodi kereta api, dari pembahasan sebelumnya sudah dijelaskan bahwa parameter kenyamanan menurut ISO 2631 adalah dari nilai *Root Mean Square Acceleration* (a_{rms}).



Gambar 4.9 Respon Percepatan Bodi Kereta Api

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa bodi kereta api mengalami osilasi percepatan sebelum akhirnya berhenti (grafik menunjukkan angka nol), hal ini dikarenakan percepatan adalah turunan terhadap waktu dari simpangan, jadi apabila simpangan mencapai kondisi *steady* dalam kasus input *impulse* ini kembali ke keadaan semua dimana simpangannya nol, maka percepatannya juga akan bernilai nol.

Respon percepatan diatas menghasilkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebesar 0.67 m/s^2 . Nilai a_{rms} tersebut belum sesuai dengan standar kenyamanan yang sudah ada, oleh karena itu sistem masih perlu untuk dilakukan pemilihan parameter terbaik untuk mendapatkan nilai parameter yang sesuai dengan standart kenyamanan ISO 2631 dengan bervariasi parameter-parameter tersebut agar sesuai dengan standart kenyamanan pada ISO 2631.

4.4 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) Input *Step* dengan Variasi Parameter I

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi suspensi kereta api dengan penambahan beberapa variasi nilai parameter koefisien redaman dan kekakuan pegas yang dinaikkan

berdasarkan persentasenya mulai dari kenaikan 10%, 15%, 20% dan 50%. Selanjutnya hasil yang didapatkan akan dianalisa berdasarkan standar kenyamanan pada ISO 2631.

4.4.1. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input Step Dengan Penambahan Nilai K

Hasil simulasi dengan parameter penambahan nilai koefisien pegas (K) yang dinaikkan pada rentang 10%, 15%, 20% dan 50% seperti pada tabel 4.2 dengan keadaan nilai parameter C tetap dibawah ini didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) pada bodi kereta api seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.2 Parameter dengan penambahan nilai K

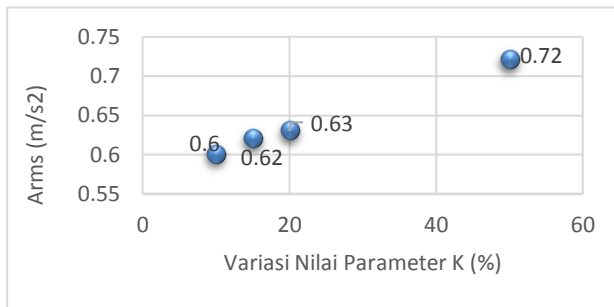
Parameter PT.INKA				Parameter Perhitungan dengan Penambahan Nilai K			
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan	10%	15%	20%	50%
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	13700	13700	13700	13700
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	500000	500000	500000	500000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	970200	1014300	1058400	1323000
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	451000	471500	492000	615000
Iw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5	24.5	24.5
Ib	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75	8.75	8.75

Tabel 4.3 Respon transient suspensi dengan variasi parameter K

Variasi	Maximum overshoot (m)	Settling time (s)	Arms (m/s ²)
Penambahan k 10%	0.140	6.62	0.60
Penambahan k 15%	0.142	6.62	0.62
Penambahan k 20%	0.143	6.62	0.63
Penambahan k 50%	0.145	5.20	0.72

Pada tabel 4.3 diatas terlihat bahwa dengan penambahan nilai parameter koefisien pegas (K) yang telah dilakukan sebesar 50% didapatkan nilai *root mean square acceleration*

(a_{rms}) yang belum memenuhi standar ISO 2631. Dapat dilihat pada grafik 4.10 dibawah ini.



Gambar 4.10 Grafik penambahan nilai parameter k

4.4.2. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input *Step* dengan Pengurangan K

Hasil simulasi dengan parameter pengurangan nilai koefisien pegas (K) yang diturunkan pada rentang yang sama dengan kenaikannya yaitu 10%,15%, 20% dan 50% seperti pada tabel 4.4 dengan keadaan nilai parameter koefisien redaman (C) tetap dibawah ini didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) pada bodi kereta api seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.4 Parameter pengurangan K

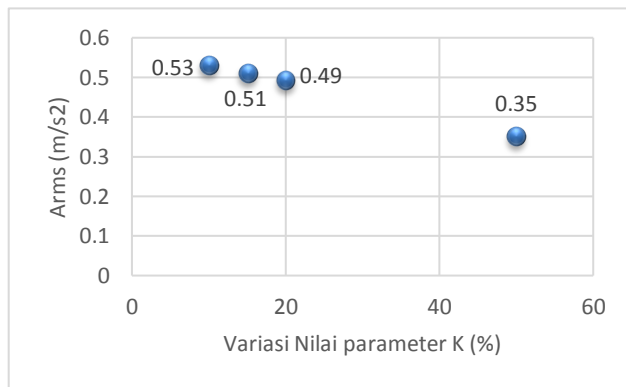
Parameter PT.INKA				Parameter Perhitungan dengan Penurunan Nilai K			
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan	10%	15%	20%	50%
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	13700	13700	13700	13700
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	500000	500000	500000	500000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	793800	749700	705600	441000
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	369000	348500	328000	205000
lw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5	24.5	24.5
lb	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75	8.75	8.75

Dari tabel diatas didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebagai berikut:

Tabel 4.5 Respon transient suspensi dengan variasi parameter K

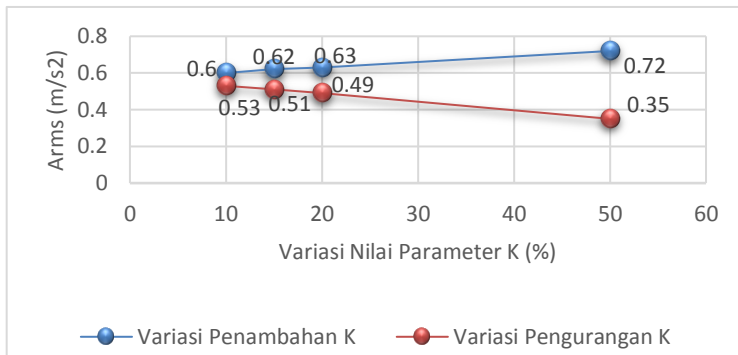
Variasi	Maximum overshoot (m)	Settling time (s)	Arms (m/s ²)
Pengurangan K 10%	0.144	7.9	0.53
Pengurangan K 15%	0.145	7.5	0.51
Pengurangan K 20%	0.143	8.5	0.49
Pengurangan K 50%	0.140	8.8	0.35

Berdasarkan tabel 4.5 diatas terlihat bahwa dengan pengurangan nilai parameter koefisien pegas (K) yang telah dilakukan sebesar K 50% nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) yang didapatkan belum memenuhi dengan standar ISO 2631 yaitu sebesar 0.35 m/s² dimana sistem dikatakan nyaman apabila nilai $arms(a) < 0.315$ m/s². Sehingga perlu dilakukan variasi parameter nilai koefisien pegas (K) dan redaman (C) kembali. Dapat dilihat pada grafik 4.11 pengurangan nilai parameter K di bawah ini.



Gambar 4.11 Grafik pengurangan nilai parameter k

Kemudian penggabungan dari grafik penambahan dan pengurangan parameter K dapat dilihat pada gambar 4.12 berikut ini:



Gambar 4.12 Grafik penggabungan nilai parameter k

Pada grafik penggabungan nilai variasi parameter koefisien pegas yang dilakukan baik melalui penambahan ataupun pengurangan nilai arms yang diperoleh masih belum memenuhi standar kenyamanan berdasarkan ISO 2631.

4.4.3. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input *Step* dengan Penambahan C

Hasil simulasi dengan parameter penambahan nilai koefisien redaman (C) yang dinaikkan pada rentang 10%, 15%, 20% dan 50% seperti pada tabel 4.6 dengan keadaan nilai parameter koefisien pegas (K) tetap dibawah ini didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) pada bodi kereta api seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.6 Parameter dengan penambahan nilai C

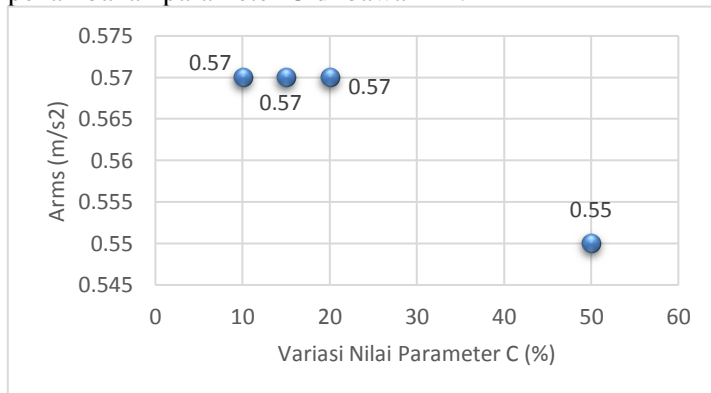
Parameter PT.INKA				Parameter Perhitungan dengan Penambahan Nilai C			
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan	10%	15%	20%	50%
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	15070	15755	16440	20550
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	550000	575000	600000	750000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	882000	882000	882000	882000
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	410000	410000	410000	410000
lw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5	24.5	24.5
lb	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75	8.75	8.75

Dari tabel diatas didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebagai berikut :

Tabel 4.7 Respon transient suspensi dengan variasi paramater C

Variasi	Maximum overshoot (m)	Settling time (s)	Arms (m/s ²)
Penambahan C 10%	0.145	7.3	0.57
Penambahan C 15%	0.143	7.3	0.57
Penambahan C 20%	0.144	6.2	0.57
Penambahan C 50%	0.140	6.1	0.55

Berdasarkan tabel 4.7 diatas terlihat bahwa dengan nilai parameter redaman (C) yang telah dilakukan, nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) yang didapatkan belum sesuai dengan standar ISO 2631. Pada penambahan parameter C yang paling besar nilai a_{rms} yang dihasilkan mengalami penurunan, menjadi 0.55 m/s², namun nilai tersebut masih belum masuk dalam kategori kenyamanan. Dapat dilihat pada gambar 4.13 penambahan parameter C di bawah ini.



Gambar 4.13 Grafik penambahan nilai parameter c

4.4.4. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input Step dengan Pengurangan C

Hasil simulasi dengan parameter pengurangan nilai koefisien redaman pegas (C) yang diturunkan pada rentang yang sama dengan kenaikannya yaitu 10%, 15%, 20% dan 50% seperti pada tabel 4.8 dengan keadaan nilai parameter koefisien pegas (K) tetap dibawah ini didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) pada bodi kereta api seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.8 Parameter dengan pengurangan nilai C

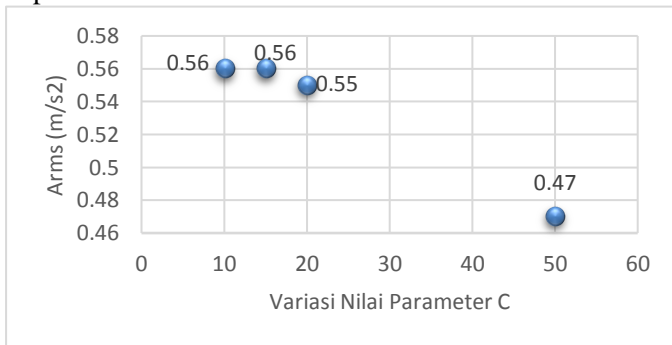
Parameter PT.INKA				Parameter Perhitungan dengan Penurunan Nilai C			
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan	10%	15%	20%	50%
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	12330	11645	10960	6850
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	450000	425000	400000	250000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	882000	882000	882000	882000
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	410000	410000	410000	410000
lw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5	24.5	24.5
lb	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75	8.75	8.75

Dari tabel diatas didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebagai berikut:

Tabel 4.9 Respon transient suspensi dengan variasi paramater C

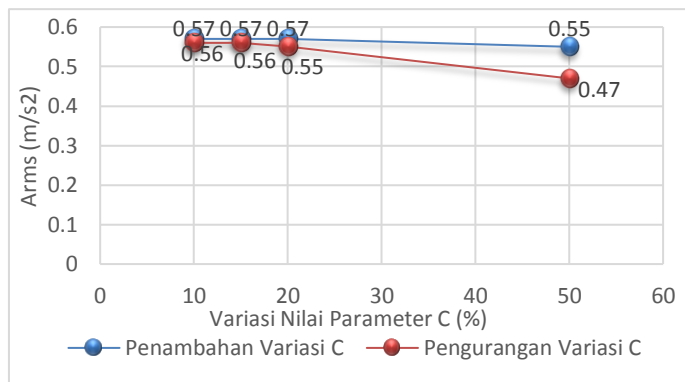
Variasi	Maximum overshoot (m)	Settling time (s)	Arms (m/s ²)
Pengurangan C 10%	0.146	6.2	0.56
Pengurangan C 15%	0.145	6.1	0.56
Pengurangan C 20%	0.144	6.2	0.55
Pengurangan C 50%	0.138	6.2	0.47

Berdasarkan tabel 4.9 diatas dapat dilihat bahwa dengan pengurangan nilai parameter redaman yang telah dilakukan, nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) yang didapatkan belum memenuhi standar ISO 2631. Pada pengurangan parameter C yang paling besar nilai a_{rms} yang dihasilkan yaitu 0.47 m/s^2 namun nilai tersebut masih belum masuk dalam kategori kenyamanan. Dapat dilihat pada grafik 4.14 penurunan nilai parameter C di bawah ini.



Gambar 4.14 Grafik pengurangan nilai parameter C

Kemudian penggabungan dari grafik penambahan dan pengurangan parameter C dapat dilihat pada gambar 4.15 berikut:



Gambar 4.15 Grafik penggabungan nilai parameter C

4.4.5. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input *Step* dengan Penambahan K dan C

Hasil simulasi dengan parameter penambahan nilai koefisien pegas (K) dan redaman (C) yang dinaikkan secara bersamaan, pada rentang yang sama yaitu 10%,15%, 20% dan 50% seperti pada tabel 4.10 dibawah ini didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) pada bodi kereta api seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.11.

Tabel 4.10 Parameter dengan penambahan nilai K dan C

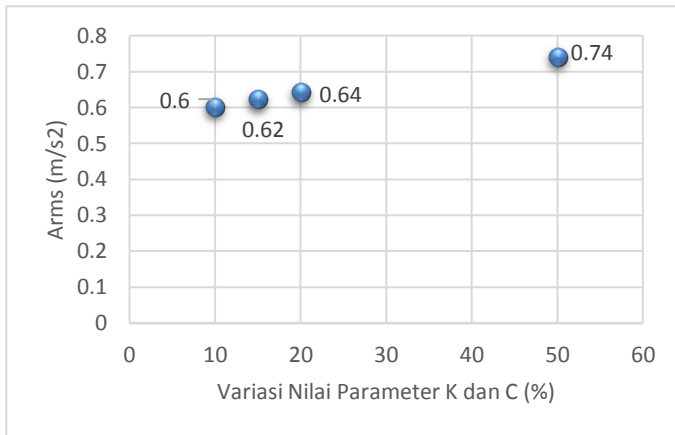
Parameter PT.INKA				Parameter Perhitungan dengan Penambahan Nilai K dan C			
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan	10%	15%	20%	50%
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	15070	15755	16440	20550
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	550000	575000	600000	750000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	970200	1014300	1058400	1323000
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	451000	471500	492000	615000
Iw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5	24.5	24.5
Ib	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75	8.75	8.75

Dari tabel diatas didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebagai berikut :

Tabel 4.11 Respon transient suspensi dengan variasi paramater K dan C

Variasi	Maximum overshoot (m)	Settling time (s)	Arms (m/s ²)
Penambahan K dan C 10 %	0.144	6.2	0.60
Penambahan K dan C 15%	0.145	6.1	0.62
Penambahan K dan C 20%	0.146	6.3	0.64
Penambahan K dan C 50%	0.144	6.1	0.74

Berdasarkan tabel 4.11 diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan nilai koefisien pegas (K) dan redaman (C) yang telah dilakukan secara bersamaan , nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) yang didapatkan belum sesuai dengan standar ISO 2631. Pada penambahan parameter K dan C yang paling besar nilai a_{rms} yang dihasilkan mengalami kenaikan. Dapat dilihat pada grafik gambar 4.16 dibawah ini.



Gambar 4.16 Grafik penambahan nilai parameter K dan C

4.2.6. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input *Step* dengan Pengurangan K dan C

Hasil simulasi dengan parameter pengurangan nilai koefisien pegas (K) dan redaman (C) yang diturunkan pada rentang yang sama dengan kenaikannya yaitu 10%, 15%, 20% dan 50% seperti pada tabel 4.12 dengan keadaan nilai parameter K dan C sama-sama diturunkan dibawah ini didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) pada bodi kereta api seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.12 Parameter dengan pengurangan nilai K dan C

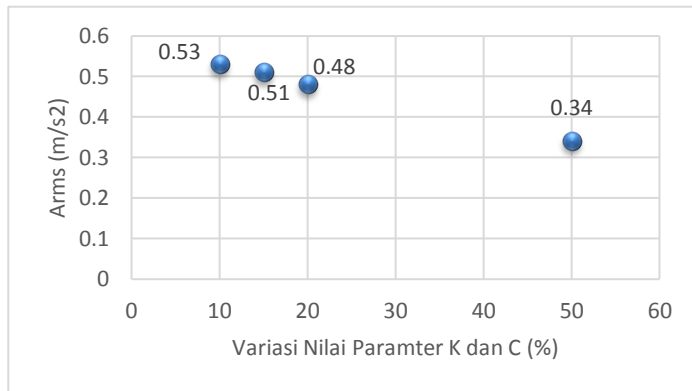
Parameter PT.INKA				Parameter Perhitungan dengan Penurunan Nilai K dan C			
Variable	Keterangan	Niki	Satuan	10%	15%	20%	50%
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m^2	1220000	1220000	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m^2	813	813	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m^{-1}	12330	11645	10960	6850
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m^{-1}	450000	425000	400000	250000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m^{-1}	793800	749700	705600	441000
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m^{-1}	369000	348500	328000	205000
lw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5	24.5	24.5
lb	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75	8.75	8.75

Dari tabel diatas didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebagai berikut :

Tabel 4.13 Respon transient suspensi dengan variasi paramater K dan C

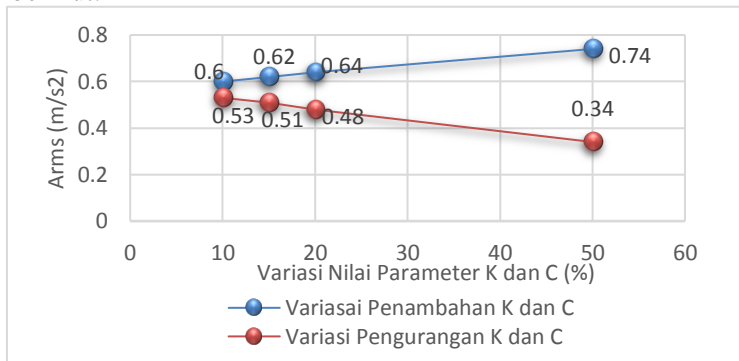
Variasi	Maximum overshoot (m)	Settling time (s)	Arms (m/s^2)
Pengurangan k dan c 10%	0.144	7.3	0.53
Pengurangan k dan c 15%	0.143	6.5	0.51
Pengurangan k dan c 20%	0.142	6.5	0.48
Pengurangan k dan c 50%	0.142	8.0	0.34

Berdasarkan tabel 4.13 diatas dapat dilihat bahwa dengan penurunan nilai koefisien pegas dan redaman yang telah dilakukan bersamaan, nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) yang didapatkan belum sesuai dengan standar ISO 2631. Pada pengurangan parameter K dan C yang paling besar nilai a_{rms} yang dihasilkan mengalami penurunan yaitu menjadi 0.34 m/s^2 dan belum termasuk dalam kategori nyaman berdasarkan ISO 2631. Dapat dilihat pada gambar 4.17 pengurangan nilai parameter K dan C di bawah ini.



Gambar 4.17 Grafik pengurangan nilai parameter k dan C

Kemudian penggabungan dari grafik penambahan dan pengurangan parameter K dan C dapat dilihat pada gambar 4.13 berikut:



Gambar 4.18 Grafik penggabungan nilai parameter K dan C

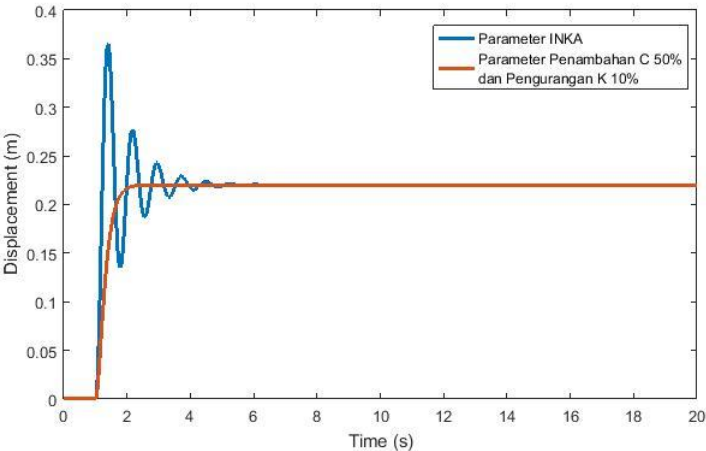
4.5 Hasil Simulasi Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) Input Step dengan Penambahan C 50% dan Pengurangan K 10%

Pada simulasi berikut ini akan disajikan grafik respon simpangan dan percepatan pada gambar 4.19 dan 4.20 sinyal gangguan *step* dengan parameter yang akan diubah yaitu nilai

kekakuan pegas (K) yang dikurangi sebesar 10% kemudian nilai koefisien redaman (C) yang ditambah menjadi 50% seperti pada tabel 4.14.

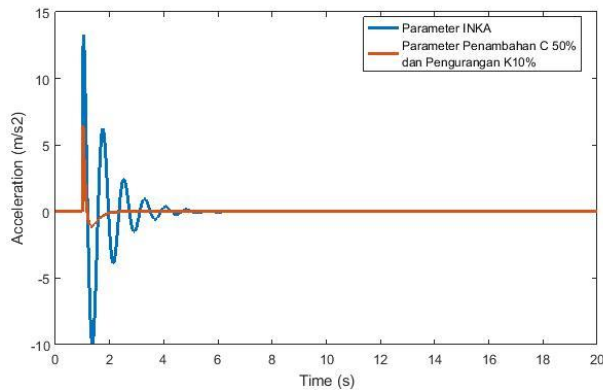
Tabel 4.14 Penambahan C 50% dan pengurangan K 10 %

Parameter PT.INKA					Parameter Penambahan C50% dan Pengurangan K10%
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan		
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	352800	529200
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	164000	246000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	1764000	1587600
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	820000	738000
Iw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5
Ib	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75



Gambar 4.19 Grafik respon simpangan bodi kereta

Kemudian dari respon simpangan yang telah didapatkan tersebut respon diturunkan menjadi respon percepatan seperti pada gambar 4.20



Gambar 4.20 Grafik respon percepatan pada bodi kereta

Adapun analisa respon transient dari respon simpangan dan percepatan akibat gangguan sinyal *step* ditunjukkan pada tabel 4.15 bawah ini.

Tabel 4.15 Respon transien suspensi kereta api dengan gangguan sinyal *step*

	Parameter PT. INKA	Penambahan C 50% dan Pengurangan K 10 %	% Penurunan
Maximum overshoot (m)	0.145	0.220	39.7%
Settling time (s)	6.6	2.4	
Arms (m/s ²)	0.57	0.12	

Dari tabel 4.15 terlihat bahwa dengan menggunakan parameter yang telah dijelaskan pada tabel 4.14 dapat mereduksi nilai *maximum overshoot* sampai dengan 39.7% dan menurunkan nilai A_{rms} menjadi 0.12 m/s² yang sesuai dengan standart kenyamanan ISO 2631 dan masuk kedalam kategori

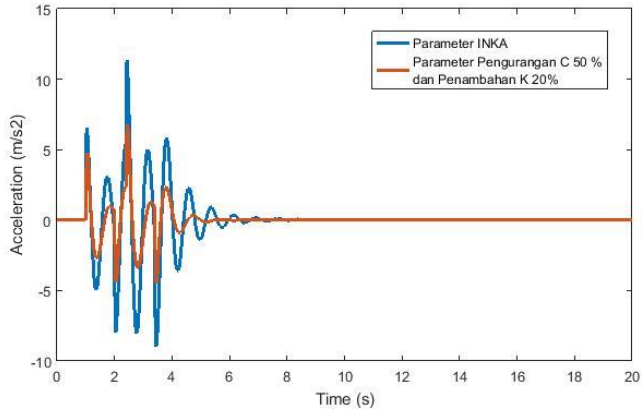
nyaman. Pada grafik respon perpindahan yang diperoleh dari parameter tersebut yaitu grafik respon *criticallydamped*. Pada sistem teredam kritis akan memiliki nilai redaman terkecil yang diperlukan untuk periodik getarannya, sehingga massa akan kembali sesingkat mungkin tanpa adanya *overshooting*. Namun pada penerapannya dengan adanya sistem tersebut dapat merusak beberapa komponen didalamnya, karena energi yang begitu besar langsung hilang tanpa adanya osilasi. Sehingga diperlukan adanya pemilihan parameter koefisien pegas (K) dan redaman (C) yang sesuai.

4.6 Hasil Simulasi Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) Input *Step* dengan Pengurangan C 50% dan Penambahan K 20%

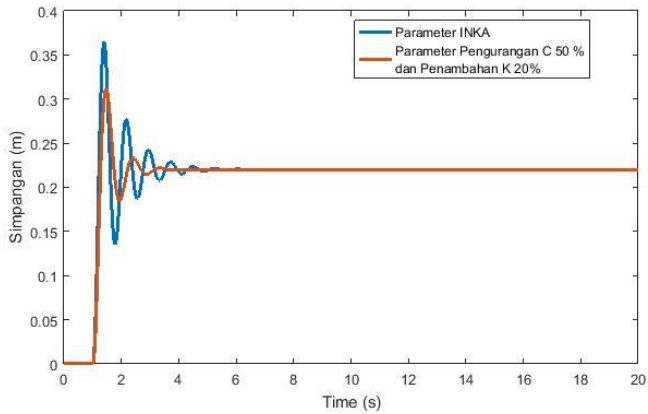
Pada simulasi berikut ini akan disajikan grafik respon simpangan dan percepatan pada gambar 4.21 dan 4.22 terhadap sinyal gangguan *step* dengan parameter yang akan diubah yaitu nilai kekakuan pegas (K) yang ditambah sebesar 20% kemudian nilai koefisien redaman (C) yang dikurangi menjadi 50% seperti pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Pengurangan C 50 % dan Penambahan K 20%

Parameter PT.INKA				Parameter Pengurangan C50% dan Penambahan K20%	
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan		
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	352800	176400
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	164000	82000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	1764000	2116800
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	820000	984000
lw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5
lb	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75



Gambar 4.21 Grafik respon simpangan bodi kereta



Gambar 4.22 Grafik respon percepatan pada bodi kereta

Adapun analisa respon transient dari respon simpangan dan percepatan akibat gangguan sinyal *step* ditunjukkan pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Respon transien suspensi kereta api dengan gangguan sinyal *step*

	Parameter PT. INKA	Pengurangan C 50 %, dan Penambahan K 10%	% Penurunan
Maximum overshoot (m)	0.145	0.085	41.4%
Settling time (s)	6.6	4.7	
Arms (m/s ²)	0.57	0.308	

Dari tabel 4.17 terlihat bahwa dengan menggunakan parameter yang telah dijelaskan pada tabel 4.16 dapat mereduksi nilai *maximum overshoot* sampai dengan 41.4 % dan menurunkan nilai A_{rms} menjadi 0,308 m/s² yang sesuai dengan standar kenyamanan ISO 2631 dan masuk kedalam kategori nyaman. Pada grafik respon perpindahan yang diperoleh dari parameter tersebut respon mengalami sedikit osilasi baru kemudian mengalami kondisi *steady*. Sehingga parameter inilah yang digunakan.

4.7 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) Input *Impuls* Dengan Variasi Parameter I

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi suspensi dengan penambahan beberapa variasi nilai parameter koefisien redaman (C) dan kekakuan pegas (K) yang dinaikkan dengan *presentase* kenaikannya sebesar 10%, 15%, 20% dan 50%. Gangguan sinyal yang diberikan berupa sinyal *impuls*. Selanjutnya hasil yang didapatkan akan dianalisa berdasarkan standart kenyamanan pada ISO 2631.

4.7.1 Hasil Simulasi Suspensi Input *Impuls* dengan Penambahan K

Hasil simulasi dengan parameter penambahan nilai koefisien pegas yang dinaikkan pada rentang 10%, 15%, 20% dan 50% seperti pada tabel 4.18 dengan keadaan nilai parameter redaman (C) tetap dibawah ini didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) pada bodi kereta api seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.19.

Tabel 4.18 Parameter Penambahan Nilai K

Parameter PT.INKA				Parameter Perhitungan dengan Penambahan Nilai K			
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan	10%	15%	20%	50%
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	13700	13700	13700	13700
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	500000	500000	500000	500000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	970200	1014300	1058400	1323000
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	451000	471500	492000	615000
Iw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5	24.5	24.5
Ib	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75	8.75	8.75

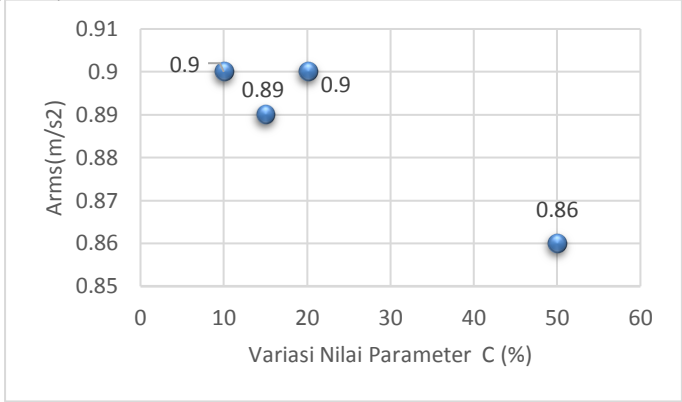
Dari tabel diatas didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebagai berikut:

Tabel 4.19 Respon transient suspensi dengan variasi parameter K

Variasi	Maximum over shoot (m)	Settling time (s)	Arms (m/s ²)
Penambahan k10%	0.227	6.2	0.88
Penambahan k15%	0.229	6.7	0.92
Penambahan k 20%	0.228	6.3	0.93
Penambahan k 50%	0.215	6.3	0.89

Berdasarkan tabel 4.19 diatas dapat dilihat bahwa dengan Penambahan nilai koefisien pegas yang telah dilakukan, nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) yang didapatkan belum sesuai dengan standar ISO 2631. Pada penambahan parameter K 20 % nilai a_{rms} yang dihasilkan yaitu sebesar 0.93 m/s².

Dapat dilihat pada gambar 4.23 kenaikan nilai parameter K di bawah ini.



Gambar 4.23 Grafik penambahan nilai parameter K

4.7.2 Hasil Simulasi Suspensi Pasif Input *Impuls* dengan Penambahan C

Hasil simulasi dengan parameter penambahan nilai koefisien redaman (C) yang dinaikkan pada rentang 10%, 15%, 20% dan 50% seperti pada tabel 4.20 dengan keadaan nilai parameter koefisien pegas (K) tetap dibawah ini didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) pada bodi kereta api seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.21.

Tabel 4.20 Parameter penambahan nilai C

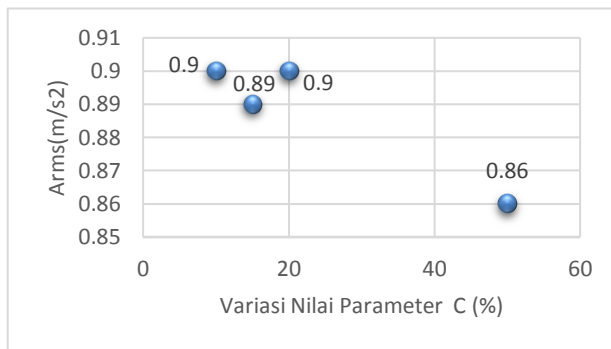
Parameter PT.INKA				Parameter Perhitungan dengan Penambahan Nilai C			
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan	10%	15%	20%	50%
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	15070	15755	16440	20550
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	550000	575000	600000	750000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	882000	882000	882000	882000
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	410000	410000	410000	410000
lw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5	24.5	24.5
lb	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75	8.75	8.75

Dari tabel diatas didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebagai berikut :

Tabel 4.21 Respon transient suspensi dengan variasi paramater C

Variasi	Maximum over shoot (m)	Settling time (s)	Arms (m/s ²)
Penambahan C 10%	0.226	6.3	0.90
Penambahan C 15%	0.225	6.2	0.89
Penambahan C 20%	0.226	6.2	0.90
Penambahan C 50%	0.221	6.2	0.86

Berdasarkan tabel 4.21 diatas dapat dilihat bahwa dengan Penambahan nilai koefisien redaman (C) yang telah dilakukan, nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) yang didapatkan belum sesuai dengan standar ISO 2631. Pada penambahan parameter C yang paling besar nilai a_{rms} yang dihasilkan sebesar 0.86 m/s².Dapat dilihat pada gambar 4.24 kenaikan nilai parameter C di bawah ini.



Gambar 4.24 Grafik penambahan nilai parameter C

4.5.3 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Input *Impuls* dengan Penambahan K dan C

Hasil simulasi dengan parameter penambahan nilai koefisien pegas (K) dan redaman (C) yang dinaikkan pada rentang yang sama dengan kenaikannya yaitu 10%,15%, 20% dan 50% seperti pada tabel 4.22 ini didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) pada bodi kereta api seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.23.

Tabel 4.22 Parameter penambahan nilai K dan C

Parameter PT.INKA				Parameter Perhitungan dengan Penambahan Nilai K dan C			
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan	10%	15%	20%	50%
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	15070	15755	16440	20550
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	550000	575000	600000	750000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	970200	1014300	1058400	1323000
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	451000	471500	492000	615000
lw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5	24.5	24.5
lb	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75	8.75	8.75

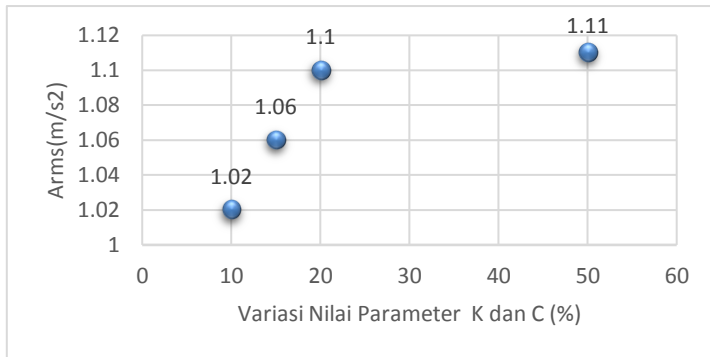
Dari tabel diatas didapatkan nilai *root mean square acceleration* (a_{rms}) sebagai berikut:

Tabel 4.23 Respon transient suspensi dengan variasi paramater K dan C

Variasi	Maximum overshoot (m)	Settling time (s)	Arms (m/s ²)
Penambahan k dan c 10 %	0.223	6.2	1.02
Penambahan k dan c 15%	0.223	6.3	1.06
Penambahan k dan c 20%	0.230	6.3	1.10
Penambahan k dan c 50%	0.219	6.4	1.11

Berdasarkan tabel 4.23 diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan nilai koefisien pegas (K) dan redaman (C) yang telah dilakukan, nilai *root mean square acceleration* (a_{rms})

yang didapatkan belum sesuai dengan standar ISO 2631. Pada penambahan parameter K dan C yang paling besar nilai a_{rms} yang dihasilkan sebesar 1.11 m/s^2 . Dapat dilihat pada gambar 4.25 kenaikan nilai parameter K dan C di bawah ini.



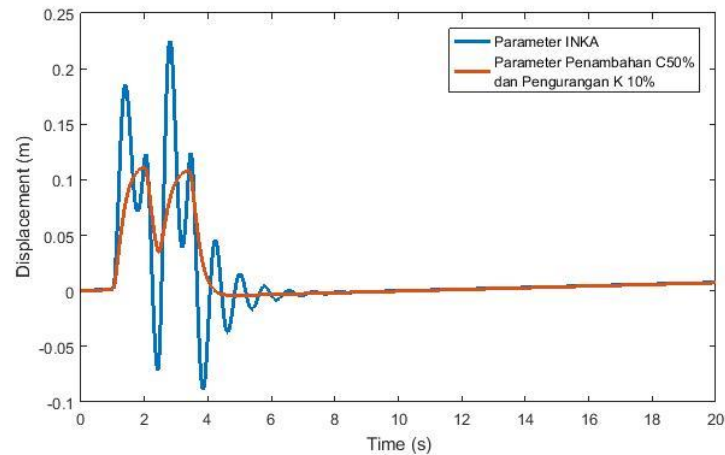
Gambar 4.25 Grafik penambahan nilai parameter K dan C

4.8 Hasil Simulasi Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) Impuls dengan Penambahan C 50% dan Pengurangan K 10%

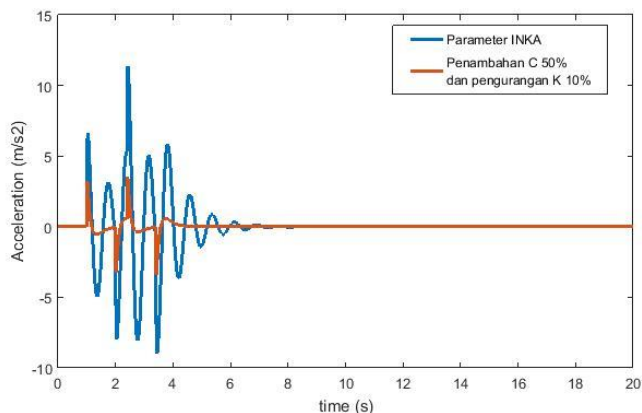
Pada simulasi berikut ini akan disajikan grafik respon simpangan dan percepatan terhadap sinyal gangguan *impuls* pada gambar 4.26 dan 4.27 dengan variasi parameter nilai penambahan koefisien redaman sebesar 50% dan pengurangan kekakuan pegas sebesar 10% seperti pada tabel 4.24 dibawah ini.

Tabel 4.24 Penambahan C 50% dan pengurangan K 10%

Parameter PT.INKA					Optimasi Pengurangan K10%, Penambahan C50%
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan		
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700	31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690	9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000	1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813	813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	352800	529200
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	164000	246000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	1764000	1587600
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	820000	738000
Iw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025	0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5	24.5
Ib	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75	8.75



Gambar 4.26 Grafik respon simpangan pada bodi kereta



Gambar 4.27 Grafik respon percepatan pada bodi kereta

Adapun analisa respon transient dari respon simpangan dan percepatan akibat gangguan sinyal *impuls* ditunjukkan pada tabel 4.25 dibawah ini.

Tabel 4.25 Respon transien suspensi kereta api dengan gangguan sinyal *impuls*

	Parameter PT. INKA	Penambahan C 50% dan pengurangan K 10%	% Penurunan
Maximum overshoot (m)	0.225	0.108	52%
Settling time (s)	6.5	3.6	
Arms (m/s ²)	0.67	0.157	

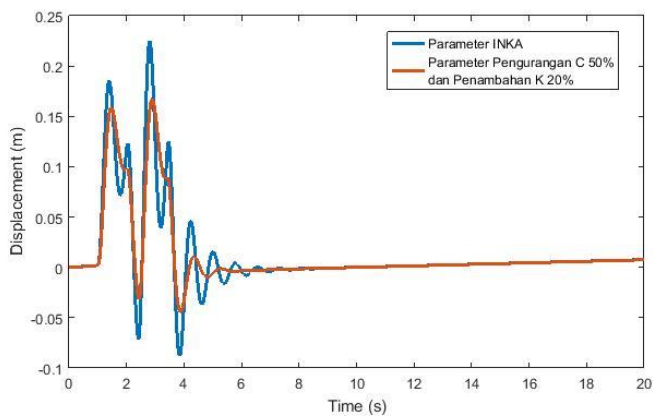
Dari tabel 4.25 terlihat bahwa dengan menggunakan parameter yang telah dijelaskan pada tabel 4.24 dapat mereduksi nilai maximum overshoot sebesar 52% dan menurunkan nilai A_{rms} menjadi 0.157 m/s² nilai tersebut sesuai dengan standar kenyamanan ISO 2631.

4.9 Hasil Simulasi Suspensi Kereta Api Ekonomi (K-3) Impuls dengan Pengurangan C 50% dan Penambahan K 20%

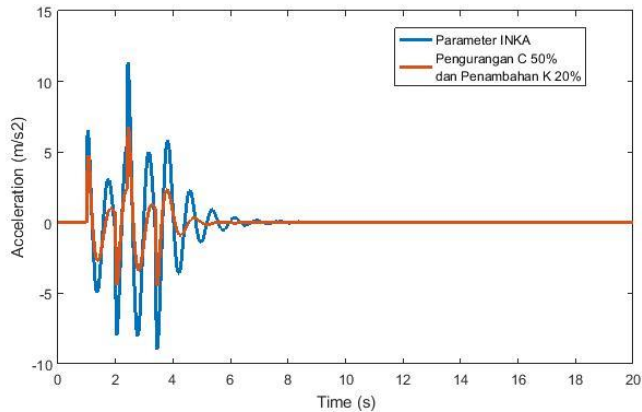
Pada simulasi berikut ini akan disajikan grafik respon simpangan dan percepatan terhadap sinyal gangguan impuls seperti gambar 4.28 dan gambar 4.29 dengan variasi parameter Pengurangan C 50% dan Penambahan K 20% yang disajikan pada tabel 4.26 dibawah ini.

Tabel 4.26 Pengurangan C 50% dan penambahan K 20%

Parameter PT.INKA						Parameter Pengurangan C50% dan Penambahan K20%
Variable	Keterangan	Nilai	Satuan			
Mb	Massa Bodi Kereta	31700	kg	31700		31700
Mt	Massa Bogie Kereta	9690	kg	9690		9690
Ib	Inersia pitch pada bodi kereta	1220000	kg.m ²	1220000		1220000
It	Inersia pitch pada bogie kereta	813	kg.m ²	813		813
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	13700	N.s.m ⁻¹	352800		176400
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	500000	N.s.m ⁻¹	164000		82000
Kp	Koefisien pegas primer	882000	N.m ⁻¹	1764000		2116800
Ks	Koefisien pegas sekunder	410000	N.m ⁻¹	820000		984000
lw	Jarak dari dasar roda	0.0025	m	0.0025		0.0025
L	Panjang bodi kereta	24.5	m	24.5		24.5
lb	Jarak suspensi sekunder pada CG body kereta	8.75	m	8.75		8.75



Gambar 4.28 Grafik respon simpangan pada bodi kereta



Gambar 4.30 Grafik Respon Percepatan Bodi Kereta

Adapun analisa respon transient dari repon simpangan dan percepatan akibat gangguan sinyal *impuls* ditunjukkan pada tabel 4.27 dibawah ini.

Tabel 4.27 Respon Transien Suspensi Kereta Api dengan gangguan sinyal *impuls*

	Parameter PT. INKA	Pengurangan C 50% dan Penambahan K 20%	% Penurunan
Maximum overshoot (m)	0.225	0.168	25.3%
Settling time (s)	6.5	3.1	
Arms (m/s ²)	0.67	0.283	

Dari tabel 4.27 diatas dapat diketahui bahwa dengan menggunakan parameter yang telah dijelaskan pada tabel 4.25, dapat mereduksi nilai *maximum overshoot* sebesar 25.3 % dan menurunkan nilai A_{rms} menjadi 0.283 m/s² dimana nilai tersebut apabila dibandingkan dengan standart ISO 2631 masuk

dalam kategori nyaman. Sedangkan grafik respon *displacement* pada gambar 4.28 sistem mengalami osilasi yang kemudian akan perlahan mencapai kondisi *steady*. Hal tersebut berbeda dengan grafik respon pada gambar 4.26 dimana sistem tidak mengalami osilasi sama sekali tetapi langsung mencapai kondisi *steady*, dalam kenyataanya hal itu dapat merusak beberapa komponen mesin yang ada didalam sistem, meskipun berdasarkan tinjauan nilai *Root Mean Square Acceleration* (a_{rms}) pada ISO 2631 sesuai dengan standart kenyamanan. Sehingga parameter terbaik yang dipilih yaitu dengan pengurangan C 50% dan penambahan K 20%.

4.10 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Kereta Api Eksekutif (K1-Argo)

Pada subbab ini ditampilkan hasil respon simpangan dan percepatan pada bodi kereta api untuk masing-masing input lintasan dengan menggunakan nilai koefisien redaman dan kekakuan pegas yang menghasilkan nilai *Root Mean Square Acceleration* (a_{rms}) yang terbaik sesuai dengan standar ISO 2631. Parameter kekakuan pegas dan koefisien redaman yang terbaik yaitu pada saat pengurangan C 50% dan penambahan K 20%. Berikut ini adalah parameter sistem suspensi pada kereta api eksekutif (K1-Argo) untuk massa kosong dan terisi penuh penumpang dapat dilihat pada tabel 4.28 dan 4.29

Tabel 4.28 Parameter sistem suspensi model setengah badan kereta api dengan massa kosong

Parameter Kereta Eksekutif (K1-Argo)			Satuan
Variabel	Keterangan	Nilai	
Mb	Massa Bodi Kereta	36000	kg
Mt	Massa Bogie Kereta	4700	kg
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	176400	N.s.m ⁻¹

Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	82000	N.s.m ⁻¹
Kp	Koefisien pegas primer	2116800	N.m ⁻¹
Ks	Koefisien pegas sekunder	984000	N.m ⁻¹

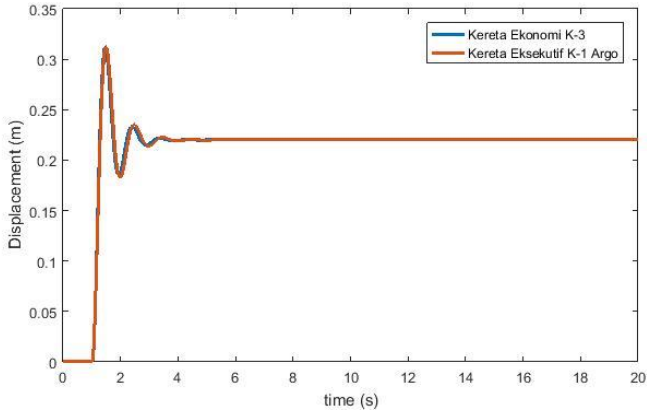
Tabel 4.29 Parameter sistem suspensi model setengah badan kereta api dengan massa penuh

Parameter Kereta Eksekutif (K1-Argo)			Satuan
Variable	Keterangan	Nilai	
Mb	Massa Bodi Kereta	39500	kg
Mt	Massa Bogie Kereta	4700	kg
Cp	Koefisien redaman suspensi primer	176400	N.s.m ⁻¹
Cs	Koefisien redaman suspensi sekunder	82000	N.s.m ⁻¹
Kp	Koefisien pegas primer	2116800	N.m ⁻¹
Ks	Koefisien pegas sekunder	984000	N.m ⁻¹

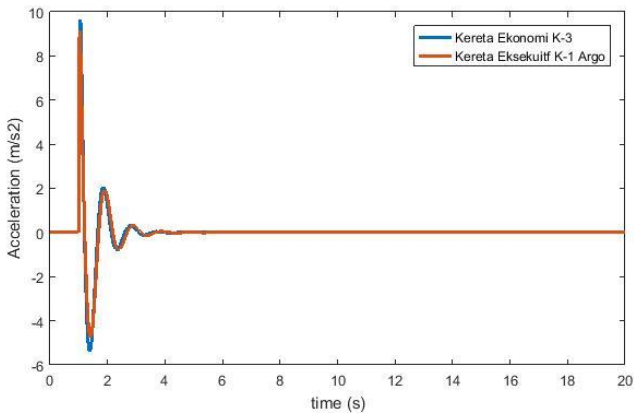
Berdasarkan tabel 4.28 dan 4.29 diatas didapatkan respon simpangan dan percepatan sebagai berikut:

4.10.1 Hasil Simulasi Sistem Suspensi Massa Kosong Dengan Input Step

Respon sistem suspensi dari simpangan dan percepatan bodi kereta api akibat gangguan input *step* ditunjukkan pada gambar 4.31 dan gambar 4.32 dengan parameter yang digunakan adalah hasil variasi terbaik yaitu pada pengurangan parameter koefisien redaman (C) sebesar 50% dan penambahan koefisien pegas (K) sebesar 20% seperti yang terlihat pada tabel 4.28.



Gambar 4.31 Grafik respon simpangan pada bodi kereta



Gambar 4.32 Grafik respon percepatan bodi kereta

Adapun analisa respon transient dari repon simpangan dan percepatan akibat gangguan sinyal *step* ditunjukkan pada tabel 4.28 dibawah ini.

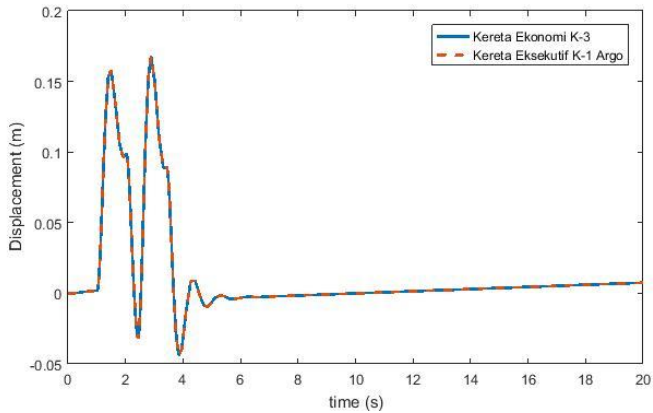
Tabel 4.30 Respon transient suspensi kereta api dengan gangguan sinyal *step*

	Kereta Ekonomi	Kereta Eksekutif
Maximum overshoot (m)	0.085	0.085
Settling time (s)	4.7	4.7
Arms (m/s ²)	0.308	0.288

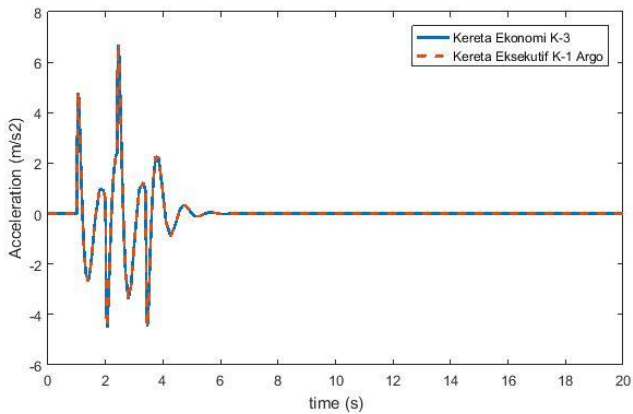
Dari tabel 4.30 terlihat bahwa dengan menggunakan parameter dari hasil variasi terbaik yaitu pada pengurangan koefisien redaman (C) sebesar 50% dan penambahan koefisien pegas (K) sebesar 20% apabila diterapkan pada jenis kereta eksekutif K-3 Argo juga sudah memenuhi standar kenyamanan berdasarkan ISO 2631 dengan nilai *Root Mean Square Acceleration* (a_{rms}) sebesar 0.288 m/s² dan masuk kedalam kategori nyaman.

4.10.2. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Massa Kosong Dengan Input *Impuls*

Gangguan kedua yang diberikan pada sistem suspensi setengah badan kereta api adalah sinyal *impuls*. Sinyal *impuls* berfungsi untuk mengetahui reaksi sistem terhadap gangguan yang datang secara tiba-tiba pada selang waktu yang singkat dan kemudian gangguan tersebut hilang. Pada sinyal *impuls* ini roda depan kereta api dikenakan gangguan selama 1 s kemudian ditambahkan *delay* waktu sebesar 0,50 s sebelum gangguan mengenai roda belakang. Selanjutnya akan diketahui respon suspensi dari simpangan dan percepatan bodi kereta api akibat gangguan input *impuls* yang ditunjukkan pada gambar 4.33 dan 4.34 dibawah ini.



Gambar 4.33 Grafik respon simpangan pada bodi kereta



Gambar 4.34 Grafik respon percepatan bodi kereta

Adapun analisa respon transient dari respon simpangan dan percepatan akibat gangguan sinyal *impuls* yang telah diberikan, ditunjukkan pada tabel 4.30 dibawah ini.

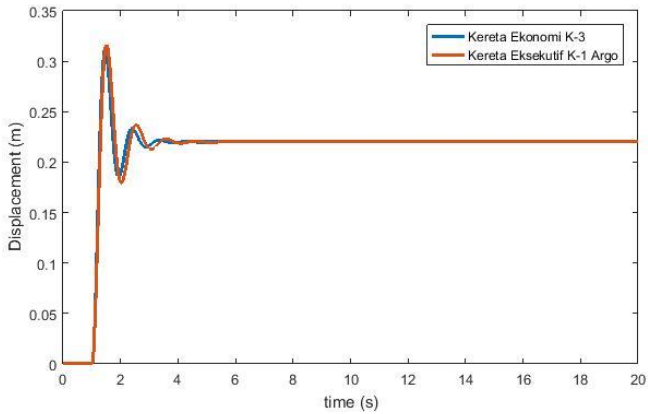
Tabel 4.31 Respon transient Suspensi kereta api dengan gangguan sinyal *impuls*

	Kereta Ekonomi	Kereta Eksekutif
Maximum overshoot (m)	0.168	0.168
Settling time (s)	3.1	3.1
Arms (m/s ²)	0.283	0.253

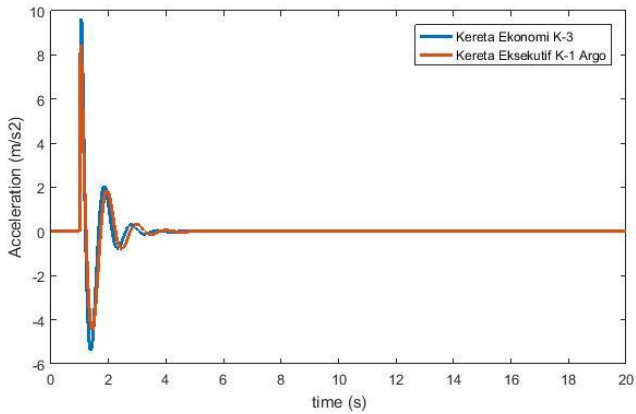
Dari tabel 4.31 terlihat bahwa dengan menggunakan parameter yang telah dijelaskan pada tabel 4.28 apabila diterapkan pada jenis kereta eksekutif K-3 Argo sudah memenuhi standar kenyamanan berdasarkan ISO 2631 dan masuk kedalam kategori nyaman.

4.10.3. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Massa Penuh Dengan Input Step

Respon sistem suspensi dari simpangan dan percepatan bodi kereta api akibat gangguan input *step* ditunjukkan pada gambar 4.35 dan 4.36. Parameter yang digunakan adalah hasil variasi terbaik yaitu pada pengurangan parameter koefisien redaman (C) sebesar 50% dan penambahan koefisien pegas (K) sebesar 20% seperti yang terlihat pada tabel 4.29 dimana parameter tersebut juga digunakan pada kereta eksekutif K-1 Argo dalam keadaan massa kosong.



Gambar 4.35 Grafik respon simpangan pada bodi kereta



Gambar 4.36 Grafik respon percepatan bodi kereta

Adapun analisa respon transient dari repon simpangan dan percepatan akibat gangguan sinyal *step* ditunjukkan pada tabel 4.32 dibawah ini

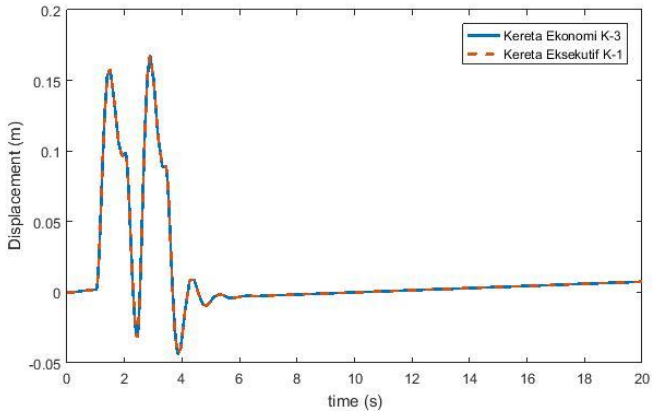
Tabel 4.32 Respon transient Suspensi kereta api dengan gangguan sinyal *step*

	Kereta Ekonomi	Kereta Eksekutif
Maximum overshoot (m)	0.085	0.097
Settling time (s)	4.7	4.9
Arms (m/s ²)	0.308	0.282

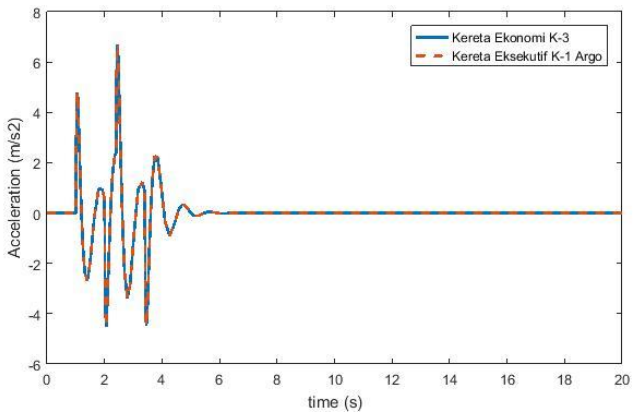
Dari tabel 4.32 terlihat bahwa dengan menggunakan parameter yang telah dijelaskan pada tabel 4.29 apabila diterapkan pada jenis kereta eksekutif sudah memenuhi standar kenyamanan berdasarkan ISO 2631 dan masuk kedalam kategori nyaman.

4.10.4. Hasil Simulasi Sistem Suspensi Massa Penuh Dengan Input *Impuls*

Gangguan kedua yang diberikan pada sistem suspensi setengah badan kereta api adalah sinyal *impuls*. Sinyal *impuls* berfungsi untuk mengetahui reaksi sistem terhadap gangguan yang datang secara tiba-tiba pada selang waktu yang singkat dan kemudian gangguan tersebut hilang. Pada sinyal *impuls* ini roda depan kereta api dikenakan gangguan selama 1 s kemudian ditambahkan *delay* waktu sebesar 0,50 s sebelum gangguan mengenai roda belakang. Selanjutnya akan diketahui respon suspensi dari simpangan dan percepatan bodi kereta api akibat gangguan input *impuls* yang ditunjukkan pada gambar 4.37 dan 4.38 dibawah ini.



Gambar 4.37 Grafik respon simpangan pada bodi kereta



Gambar 4.38 Grafik respon percepatan bodi kereta

Adapun analisa respon transient dari respon simpangan dan percepatan akibat gangguan sinyal *impuls* yang telah diberikan, ditunjukkan pada tabel 4.33 dibawah ini.

Tabel 4.33 Respon transien Suspensi kereta api dengan gangguan sinyal *impuls*

	Kereta Ekonomi	Kereta Eksekutif
Maximum overshoot (m)	0.168	0.171
Settling time (s)	3.1	4.6
Arms (m/s ²)	0.283	0.284

Dari tabel 4.33 terlihat bahwa dengan menggunakan parameter optimasi yang telah dijelaskan pada tabel 4.29 apabila diterapkan pada jenis kereta eksekutif sudah memenuhi standar kenyamanan berdasarkan ISO 2631 dan masuk kedalam kategori nyaman.

4.11 Pembahasan

Sistem suspensi kereta api yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sistem suspensi pada kereta ekonomi (K-3) dan kereta eksekutif (K-1 Argo). Dimana desain bogie dari kereta ekonomi (K-3) ini adalah *non-articulated bogie* menggunakan TB 1014 sedangkan pada kereta eksekutif menggunakan NT 60. Bahan suspensi primer dari bogie ini sendiri terbuat dari *conical rubber spring* sedangkan pada suspensi sekunder menggunakan *coil spring*, vertikal *oil damper*, dan lateral *oil damper*. Sistem suspensi kereta api ini memiliki nilai kekakuan pegas dan koefisien redaman tertentu. Pada penelitian ini menggunakan model setengah badan kereta api dengan 6 DOF (*Degree Of Freedom*) dengan fokus kenyamanan yang akan diteliti adalah pada bodi kereta api. Seperti yang sudah di jelaskan pada subbab 4.1 untuk hasil simulasi yang telah dilakukan pada sistem suspensi kereta api dengan 2 jenis gangguan lintasan *step* dan *impuls* sinyal yang sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan sebesar 0,50 mm atau 5 cm diperoleh nilai arms pada input *step* sebesar 0.13 m/s²

dan pada sinyal gangguan *impuls* sebesar 0.17 m/s^2 . Kedua hasil tersebut sudah memenuhi Standar Kenyamanan berdasarkan ISO 2631 namun apabila standar celah pemasangan rel yang dilakukan sebesar 5 cm. Sehingga dilakukan analisa kembali untuk gangguan yang diberikan jika sebesar 22 cm atau 220 mm menghasilkan performansi yang sesuai apa tidak. Hasil a_{rms} yang diperoleh adalah 0.57 m/s^2 untuk sinyal *step* dan 0.67 m/s^2 untuk sinyal *impuls*. Kedua nilai tersebut apabila kita bandingkan dengan standart kenyamanan pada ISO 2631 nilai *Root Mean Square Acceleration* (a_{rms}) yang dihasilkankan pada sistem suspensi kereta api tanpa gangguan tersebut belum memenuhi standart kenyamanan, sehingga perlu dilakukan variasi nilai pada parameter kekakuan pegas dan koefisien redaman pada suspensi kereta tersebut. Pada subbab 4.4.1-4.4.6 telah dijelaskan bahwa dengan banyaknya variasi yang telah disimulasikan nilai a_{rms} yang diperoleh masih belum memenuhi standart pada ISO 2631. Kemudian dilakukan variasi nilai parameter K (kekakuan pegas) dan C (koefisien redaman) sesuai dengan subbab 4.5-4.6. Variasi nilai parameter yang digunakan yaitu dengan penambahan C (koefisien redaman) sebesar 50% dan pengurangan K (kekakuan pegas) 10%, sehingga diperoleh nilai a_{rms} sebesar 0.12 m/s^2 pada gangguan *step* sedangkan pada *impuls* menghasilkan nilai Arms sebesar 0.157 m/s^2 . Kedua nilai tersebut apabila dibandingkan dengan standar ISO 2631 sudah memenuhi standart kenyamanan yang nilai *Root Mean Square Acceleration* (a_{rms}) kurang dari 0,315 sesuai dengan penjelasan pada tabel 3.1, kemudian pada grafik respon *displacement* terjadi penurunan maximum overshoot sebesar 39.7%, dan grafik respon yang dihasilkan yaitu berupa *criticallydamped*. Sistem teredam kritis akan memiliki nilai redaman terkecil yang diperlukan untuk periodic gerakannya. Maka massa akan kembali pada posisi *steady* dalam waktu sesingkat mungkin tanpa adanya *overshooting*. Kemudian dilakukan lagi variasi parameter dengan pengurangan C 50 % dan penambahan K 20% untuk input *step* yang dijelaskan pada

4.4 menghasilkan nilai a_{rms} sebesar 0.308 m/s^2 nilai tersebut juga masih memenuhi untuk standar kenyamanan menurut ISO 2631. Parameter ini dipilih karena dilihat berdasarkan respon *displacement* yang dihasilkan, sistem mengalami sedikit osilasi terlebih dahulu sebelum akhirnya kembali dalam keadaan *steady*.

Selanjutnya respon suspensi kereta api dengan gangguan sinyal *impuls*. Pada variasi perubahan nilai parameter K (kekakuan pegas) dan C (koefisien redaman) yang telah dilakukan pada subbab 4.7.1 - 4.7.3 belum didapatkan nilai a_{rms} yang memenuhi standart kenyamanan berdasar ISO 2631. Selanjutnya dilakukan variasi parameter seperti yang dijelaskan pada subbab 4.8-4.9 didapatkan nilai a_{rms} sebesar 0.157 m/s^2 dengan pengurangan K 10% dan penambahan C 50% dan 0.283 m/s^2 pengurangan C 50% dan penambahan K 20% . Kedua nilai a_{rms} tersebut masuk kedalam kategori standar kenyamanan berdasarkan ISO 2631 dimana nilai a_{rms} berada pada $0.315 < a < 0.63 \text{ m/s}^2$. Kemudian nilai parameter hasil variasi tersebut diterapkan pada jenis kereta api eksekutif dengan kondisi massa kosong dan pada saat diisi penuh penumpang nilai a_{rms} sudah memenuhi standart kenyamanan. Pada sinyal *step* menghasilkan nilai a_{rms} sebesar $0,288 \text{ m/s}^2$, sedangkan pada sinyal *impuls* menghasilkan a_{rms} sebesar $0,253 \text{ m/s}^2$ dengan kondisi massa berada dalam keadaan kosong sedangkan pada saat terisi penuh menghasilkan nilai a_{rms} $0,282 \text{ m/s}^2$ pada sinyal *step* dan $0,284 \text{ m/s}^2$ pada sinyal *impuls*.

Pada implementasi di industri dengan parameter nilai kekakuan pegas dan koefisien redaman yang telah didesain agar memenuhi standar ISO 2631 yaitu dilakukan pemasangan kekakuan pegas secara paralel agar menghasilkan nilai K yang sama dengan nilai penambahan sebesar 20% dari parameter awal. Sedangkan untuk nilai koefisien redaman yang dapat dilakukan yaitu menambahkan viskositas oil damper sehingga nilai koefisien redaman sama dengan nilai redaman yang ditambah sebesar 50% dari nilai parameter awal.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada simulasi dan analisis data, kesimpulan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Pemberian input gangguan sebesar 51 mm atau 5,1 cm sesuai dengan Peraturan Menteri Perhubungan menghasilkan nilai arms yang sesuai dengan Standart Kenyamanan ISO 2631 yaitu pada input *step* sebesar 0,13 m/s² dan *impuls* sebesar 0,17 m/s².
- b. Pemberian input gangguan sebesar 220 mm atau 22 cm menghasilkan nilai arms sesuai dengan standar ISO 2631 yaitu dengan pengurangan C sebesar 50% dan penambahan K sebesar 20%.
- c. Parameter nilai kekakuan pegas (k) dan koefisien redaman (c) yang menghasilkan respon dinamik pada suspensi kereta api ekonomi (K-3) dengan input *step* menghasilkan nilai Arms sebesar 0,308 m/s², sedangkan pada input *impuls* menghasilkan nilai Arms sebesar 0,283 m/s².
- d. Parameter nilai kekakuan pegas (k) dan koefisien redaman (c) yang menghasilkan respon dinamik pada suspensi kereta api eksekutif (K-1) pada kondisi massa kosong dengan input *step* menghasilkan nilai Arms sebesar 0,288 m/s², sedangkan pada input *impuls* menghasilkan nilai Arms sebesar 0,253 m/s².
- e. Parameter nilai kekakuan pegas (k) dan koefisien redaman (c) yang menghasilkan respon dinamik pada suspensi kereta api eksekutif (K-1) pada kondisi massa terisi penuh dengan input *step* menghasilkan nilai Arms sebesar 0,282 m/s², sedangkan pada input *impuls* menghasilkan nilai Arms sebesar 0,284 m/s².

5.2 Saran

Pada penelitian ini telah dilakukan simulasi sistem suspensi kereta api dengan pemodelan pada bodi kereta api diasumsikan sebagai massa rigid. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pemisahan pemodelan cabin kereta api, dan massa tidak dianggap rigid.

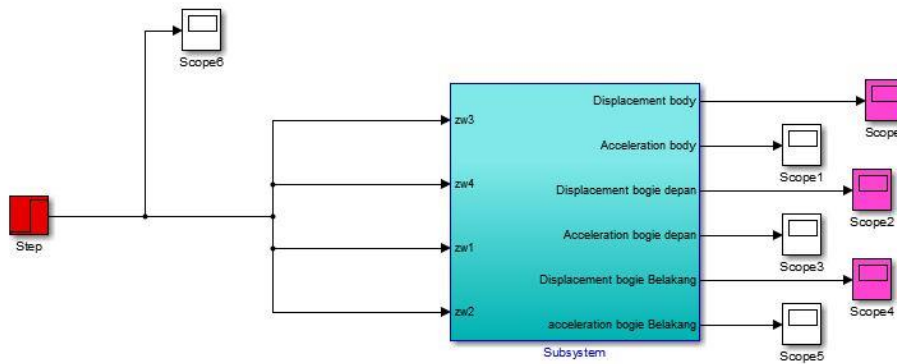
DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistika*. (2017, November Jumat). Diambil kembali dari Badan Pusat Statistika: <https://www.bps.go.id>
- (PM), M. P. (2012). *Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api*. Menteri Perhubungan Republik Indonesia.
- Gagorowski, A. (2010). Simulation Studi on Stiffness of Suspension Seat in The Aspect of the Vibration Assesment Affecting a Vehicle Driver. *11*, 55-62.
- Hrovat, D. H. (2011). Optimum Vehicle Suspensions Minimizing RMS Rattlespace, Sprung-Mass Acceleration and Jerk. *American Society of Mechanical Engineers, ASME*, p. 15-20.
- ISO 2631-1 Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole*.
- Kirli, A. (2015). Design and application of an active suspension system on a 6 DOF half vehicle model. *ResearchGate*.
- M.Ali. (2004). Pembelajaran Perancangan Sistem Kontrol PID dengan Software Matlab. *Jurnal Edukasi@Eektro*, 1, 1-8.
- Rao, S. S. (2010). *Mechanichal Vibration*. Prentice Hall.
- Semiha Turkey, A. S. (2016). Effect of Multi-Objective Control on Ride Quality in High Speed Railway Vehicle. *IFAC*, 273-278.
- Tome, X. (2012). Vertical Suspension Damping Optimization On The Running Behaviour Criterion f The railways Vehichle.

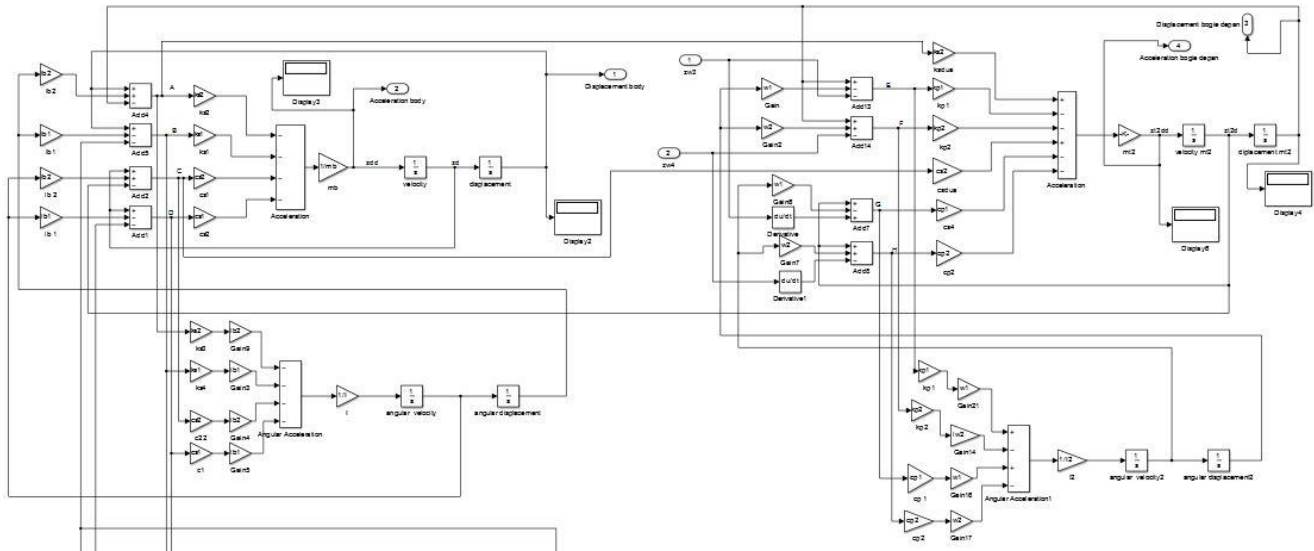
LAMPIRAN

MODEL SIMULINK SISTEM SUSPENSI

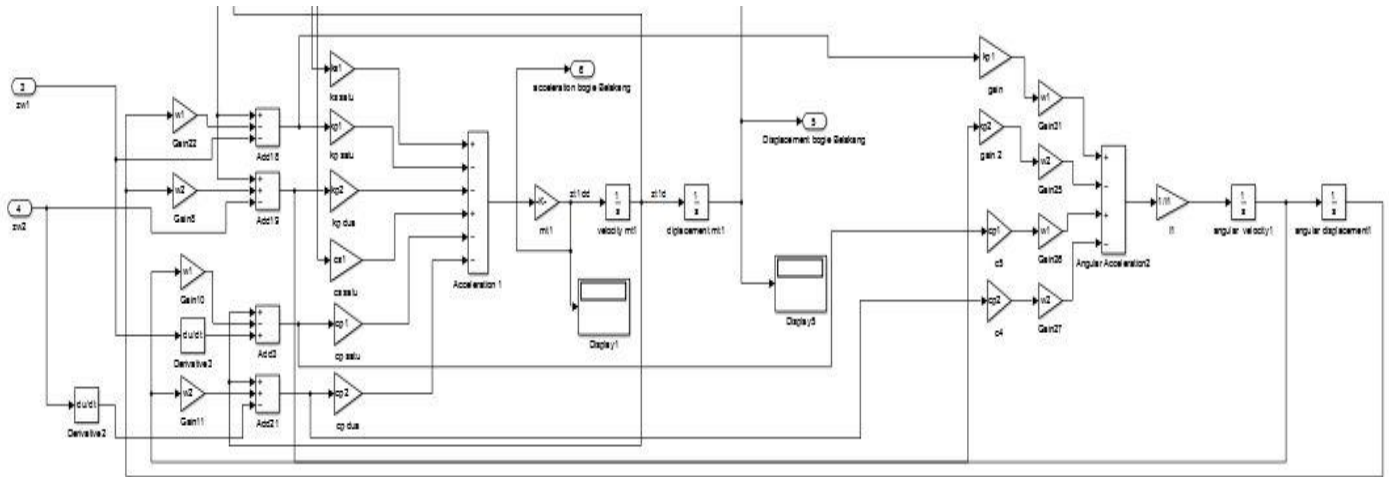
A.1 Model Simulink Sistem Suspensi Dengan Input *Step*



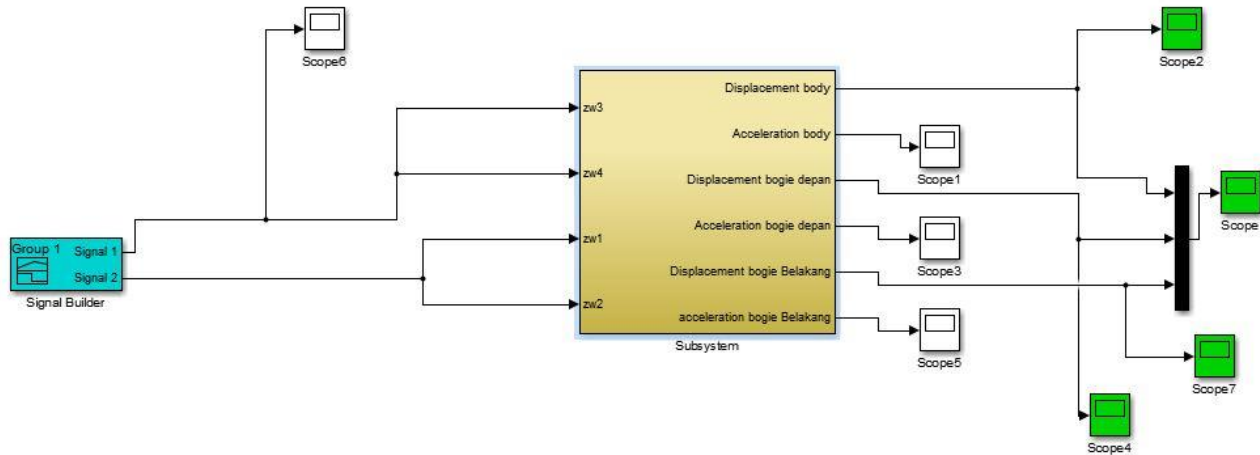
A.2 Model Simulink Subsystem Sistem Suspensi Dengan Input Step



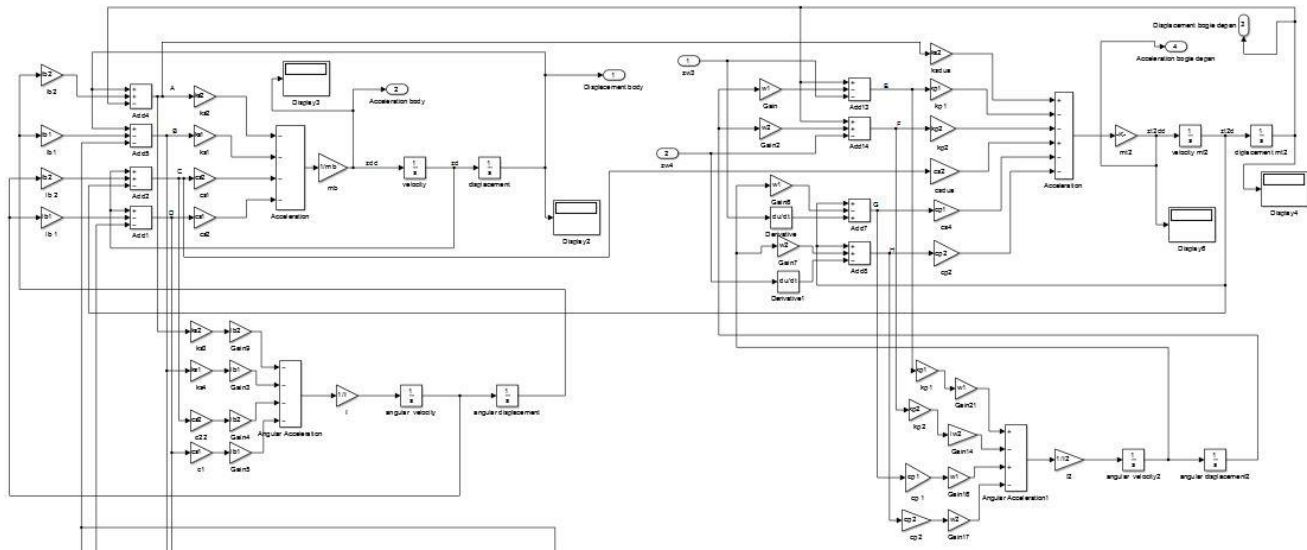
Lanjutan Subsystem Sistem Suspensi Dengan Input *Step*



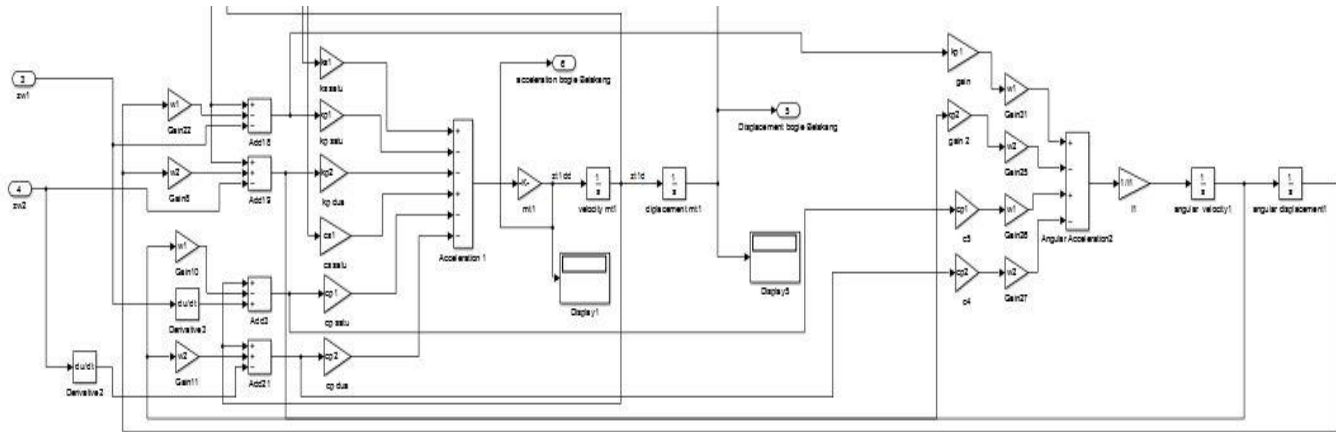
B.1 Model Simulink Sistem Suspensi Dengan Input *Impuls*



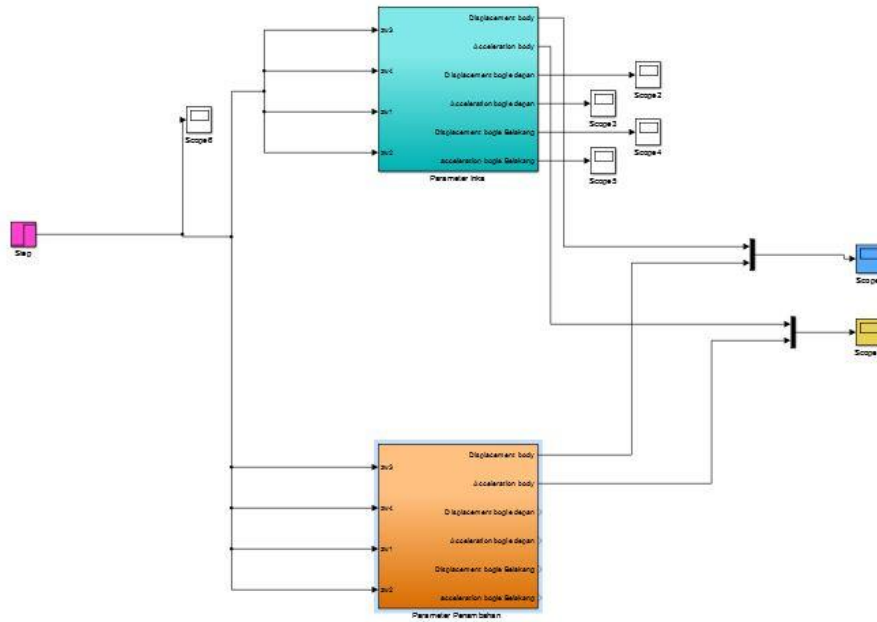
B.2 Model Simulink Subsystem Sistem Suspensi Dengan Dengan Input *Impuls*



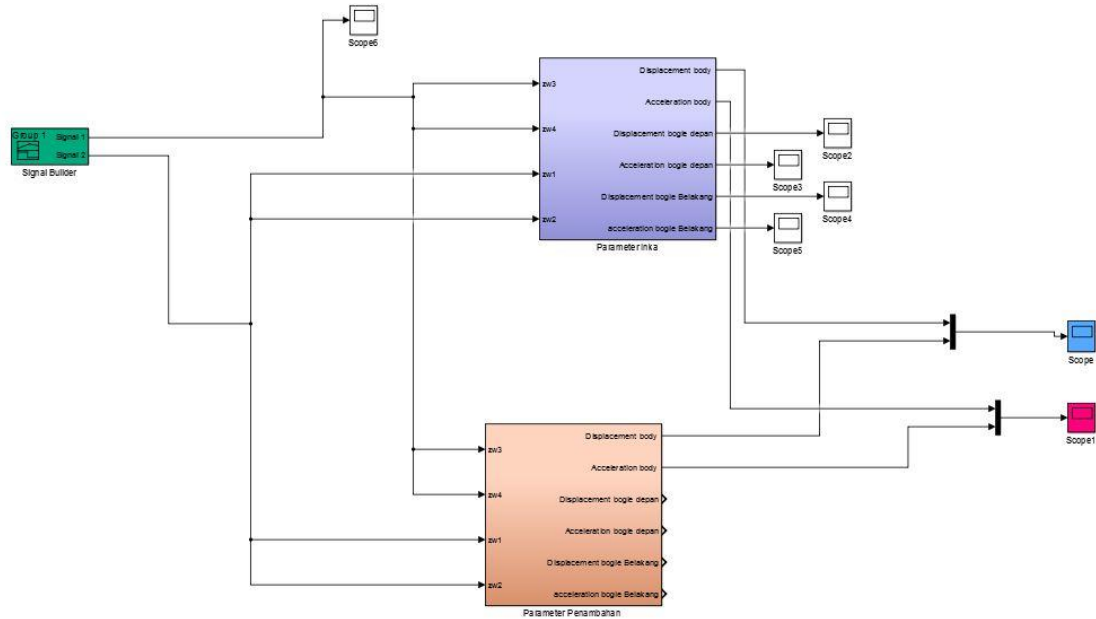
Lanjutan Subsystem Sistem Suspensi Dengan Dengan Input *Impuls*



C. Model Simulink Sistem Suspensi Parameter PT. INKA dan Optimasi Dengan Input *Step*



D. Model Simulink Sistem Suspensi Parameter PT. INKA dan Optimasi Dengan Input *Step*



BIODATA PENULIS



Nama penulis Siti Nurul Afizah dilahirkan di Tuban, tanggal 28 Agustus 1995. Merupakan anak ke 3 dari 3 bersaudara. Anak dari pasangan Nur Afifah dan bapak Chanif. Saat ini penulis tinggal di Jalan Merik Gg. Mangga 264 Tuban, Provinsi Jawa Timur. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN Kutorejo 1 Tuban 2009, pendidikan di SMPN 1 Tuban pada tahun 2011, pendidikan di SMAN 1 Tuban pada

tahun 2014 dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang. Pada Tahun ke 2, penulis berperan sebagai staff Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS (HMTF), kemudian di Tahun ke-3 diamanahi sebagai Wakil Kepala Departemen Intenal, dan pada tahun itu pula penulis diterima sebagai member /asisten di Laboratorium Vibrasi dan Akustik.

Pada bulan terakhir penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan **Analisis Pengaruh Kekakuan Dan Koefisien Redaman Pada Suspensi Kereta Api Untuk Kenyaman Ditinjau Pada *Center Of Gravity***. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui email : afizahnurul2@gmail.com

